

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



ESTUDIO ELECTROMECAÁNICO DE UNA MOLIENDA DE CEMENTO

Autor: Adrián Diego Benavente Palomar

Tutor: Sergio González López

Área: Mecánica de medios continuos y teoría de estructuras

Este proyecto está dedicado sobre todo a tres personas sin cuyo apoyo todo me habría sido mucho más difícil a lo largo de estos años.

A Guillermo, gracias a su amistad incondicional desde hace mas de 15 años y a su ayuda inestimable en todas las circunstancias de la vida

A Valle, otro pilar de apoyo imprescindible, tanto en lo académico como en lo personal, que tanto me ha ayudado a seguir adelante cuando las cosas no eran sencillas.

Y por supuesto a Sergio, compañero, tutor y sobre todo amigo, sin cuya ayuda aún estaría penando por los duros campos de la ingeniería estructural y la simulación de flujos industriales.

A todos ellos, gracias de corazón.

"Una cabeza sin memoria, es como una fortaleza sin guarnición"

Napoleón Bonaparte

INDICE

MEMORIA

| | |
|---|----|
| 1. Objeto del proyecto | 5 |
| 2. Descripción del proceso..... | 7 |
| 3. Emplazamiento | 8 |
| 4. Normativa y reglamentación aplicada | 9 |
| 5. Previsión de potencia..... | 10 |
| 6. Centros de transformación..... | 12 |
| 6.1 C.T. Molino..... | 12 |
| 6.1.1 Características generales | 12 |
| 6.1.2 Transformador..... | 13 |
| 6.1.3 Características de las celdas de MT | 14 |
| 6.1.4 Batería de condensadores | 17 |
| 6.1.5 SAI | 18 |
| 6.1.6 Panoplia de seguridad | 18 |
| 6.2 C.T. Proceso | 19 |
| 6.2.1 Características generales | 19 |
| 6.2.2 Transformadores | 20 |
| 6.2.3 Características de las celdas de MT | 22 |
| 6.2.4 Batería de condensadores | 23 |
| 6.2.5 Variadores | 24 |
| 6.2.6 CCM/CGDBT | 25 |
| 6.2.7 SAI | 28 |
| 6.2.8 Panoplia de seguridad | 28 |
| 7. Canalizaciones y cables | 29 |
| 7.1 Trazado..... | 29 |
| 7.2 Diámetro de los tubos..... | 29 |
| 7.3 Bandejas | 30 |
| 7.4 Cables..... | 30 |
| 8. Red de tierras y pararrayos | 32 |
| 8.1 C.T. Molino | 32 |
| 8.2 C.T. Proceso | 33 |
| 8.3 Edificio Molienda..... | 33 |
| 8.4 Pararrayos..... | 34 |
| 9. Estudio estructural de bandejas | 35 |
| 9.1 Introducción histórica..... | 35 |
| 9.2 La técnica de elementos finitos | 38 |
| 9.2.1 Definición de la geometría | 38 |
| 9.2.2 Especificación del régimen a estudiar..... | 38 |
| 9.2.3 Asignación de las propiedades de los materiales | 39 |
| 9.2.4 Asignación de las condiciones de contorno | 39 |
| 9.2.5 Aplicación de las cargas..... | 39 |
| 9.2.6 Mallado de la geometría..... | 39 |
| 9.2.7 Resolución del problema..... | 39 |
| 9.2.8 Análisis de la solución | 39 |

| | |
|--|----|
| 9.3 Introducción al problema planteado | 40 |
| 9.4 Resolución | 42 |
| 9.4.1 Modelación de elementos | 43 |
| 9.4.2 Establecimiento de materiales | 45 |
| 9.4.3 Ensamblaje | 46 |
| 9.4.4 Tipo de análisis | 47 |
| 9.4.5 Interacciones | 47 |
| 9.4.6 Cargas | 49 |
| 9.4.7 Mallado | 50 |
| 9.4.8 Ejecución | 50 |
| 9.5 Conclusiones | 53 |

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

| | |
|--|----|
| 1. Demanda de potencia y transformadores | 55 |
| 2. Centros de transformación | 59 |
| 2.1 C.T. Molino | 59 |
| 2.1.1 Intensidad en AT | 59 |
| 2.1.2 Intensidad en BT | 59 |
| 2.1.3 Corrientes de cortocircuito | 60 |
| 2.1.4 Batería de condensadores | 61 |
| 2.2 C.T. Proceso | 62 |
| 2.2.1 Intensidad en AT | 62 |
| 2.2.2 Intensidad en BT | 63 |
| 2.2.3 Corrientes de cortocircuito | 65 |
| 2.2.4 Batería de condensadores | 67 |
| 2.2.5 Protecciones | 68 |
| 3. Cables de MT y BT | 70 |
| 3.1 Cables | 70 |
| 3.2 Determinación diámetro de tubos | 73 |
| 3.3 Bandejas | 73 |
| 4. Red de tierras | 74 |
| 4.1 Centros de transformación | 74 |
| 4.1.1 Resistencia de puesta a tierra | 74 |
| 4.1.2 Intensidad de defecto a tierra | 75 |
| 4.1.3 Tensiones de paso, defecto y acceso | 75 |
| 4.1.4 Tensiones máximas admisibles | 76 |
| 4.1.5 Puesta a tierra del neutro del transformador | 76 |
| 4.1.6 Separación de la toma de tierra para el neutro del transformador | 77 |
| 4.1.7 Justificación de las líneas de tierra | 77 |
| 4.2 Edificio molienda | 78 |
| 4.3 Pararrayos | 78 |
| 5. Cálculos de bandejas por Abaqus | 79 |
| 5.1 Caso 1 | 79 |
| 5.2 Caso 2 | 79 |

PRESUPUESTO

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1. Transformadores..... | 81 |
| 2. Cabinas de media tensión | 83 |
| 3. Baterías de condensadores..... | 85 |
| 4. Cables | 86 |
| 5. Variadores..... | 87 |
| 6. Red de tierras..... | 88 |
| 7. Armarios eléctricos..... | 90 |
| 8. Bandejas y tubos..... | 92 |
| 9. Resumen por capítulos | 93 |

CONCLUSIONES

| | |
|----------------------|----|
| 1. Conclusiones..... | 94 |
|----------------------|----|

PLANOS

PLANO N° 1.- Planta General

PLANO N° 2.- Planta General (Edificio Molienda)

PLANO N° 3.- C.T Molino

PLANO N° 4.- C.T Proceso

PLANO N° 5.- Molino de Cemento. Canalizaciones de cables

PLANO N° 6.- Molino de Cemento. Situación de motores. Caminos de cables

PLANO N° 7.- Molino de Cemento. Situación de motores. Caminos de cables

PLANO N° 8.- Molino de Cemento. Situación de motores. Caminos de cables

PLANO N° 9.- Molino de Cemento. Situación de motores. Caminos de cables

PLANO N° 10.- Molino de Cemento. Plano de Tierras

PLANO N° 11.- Esquema Unifilar

PLANO N° 12.- Maniobra. Accionamiento compuerta pantalón

PLANO N° 13.- Maniobra. Transporte neumático

PLANO N° 14.- Maniobra. Soplante

PLANO N° 15.- Maniobra. Esclusa alimentador

PLANO N° 16.- Maniobra. Compuerta aire fresco

PLANO N° 17.- Maniobra. Elevador

PLANO N° 18.- Maniobra. Válvula motorizada



MEMORIA

1. OBJETO DEL PROYECTO.

El proyecto tiene por objeto establecer las condiciones técnicas necesarias para la puesta en funcionamiento de la instalación, comprendiendo esta, desde la acometida subterránea en M.T, hasta la alimentación de los diferentes motores de los que consta.

La instalación consta principalmente de tres zonas diferenciadas, una es el C.T Motor Molino, a través del cual se realizará la acometida subterránea en M.T 15 kV (Sevillana Eléctrica), otra, el C.T Proceso y finalmente el Edificio de Molienda en el que se ubican todos los motores de la instalación.

En el C.T Motor Molino se ubicará principalmente el transformador de alimentación del motor del molino de 4200 kW, de características 5.5 MVA 15 / 6.6 kV y una batería de condensadores fija para corregir el factor de potencia a $\cos\phi=0.98$. Desde el C.T Motor Molino se alimentará al C.T Proceso mediante canalización subterránea entubada, también en media tensión.

En el C.T Proceso se instalará por un lado un transformador de 1250 KVA, 15 kV / 720 V para la alimentación de tres motores, los cuales son arrancados mediante variadores de frecuencia. Dichos motores se alimentarán desde el CGDBT1, en el que se ubicarán las principales protecciones de estos.

Por otro lado también se dispondrá de un transformador de 800 KVA 15 kV / 525 V, que alimentará al CGDBT2 en el que se ubicarán las protecciones, destinadas a la alimentación del CCM y a la batería de condensadores regulable para regular a $\cos\phi=0.98$. En el CCM se ubicarán el resto de protecciones orientadas a la protección de los motores de 500 V.

Se instalará un transformador de 50 KVA 525 / 400-230 V para el alumbrado de los centros de transformación y el edificio de molienda, distribución que se realizará desde el cuadro de alumbrado.

Por último se procederá a la inclusión de un estudio sobre el sistema de bandejas para la distribución del cableado de la instalación. Dicho estudio se realizará con el programa ABAQUS, comprendiendo el cálculo estructural en base a las distintas cargas consideradas.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

Para la elaboración del clinker portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de hierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1400 °C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm, cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker portland.

Una vez frío, el clinker se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento portland simple. Además durante, la molienda, el clinker puede combinarse con una escoria o un material puzolánico para producir un cemento mezclado portland-escoria o portland-puzolana, o bien puede molerse con determinados materiales de carácter sulfo-calcio-aluminoso para obtener los llamados cementos expansivos.

También es factible incorporar aditivos durante la molienda del clinker, siendo de uso frecuente los auxiliares de molienda y los inclusores de aire.

De conformidad con lo anterior, a partir del clinker portland es posible fabricar tres principales grupos o clases de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto:

- 1) Los cementos portland propiamente dichos, o portland simples, moliendo solamente el clinker y el yeso sin componentes cementantes adicionales.
- 2) Los cementos portland mezclados, combinando el clinker y el yeso con otro cementante, ya sea este una escoria o una puzolana.
- 3) Los cementos expansivos que se obtienen añadiendo al clinker otros componentes especiales de carácter sulfatado, cálcico y aluminoso.

Proceso Físico-Químico

La transformación del polvo crudo en clínker es un proceso donde ocurren cambios físico-químicos.

En general, el proceso de fabricación de cemento implica las siguientes reacciones, que se efectúan dentro de la unidad de calcinación.

El secado implica la evaporación de la humedad de la materia prima a una temperatura de 110° C.

La deshidratación se da a temperaturas mayores de 450° C, y significa la pérdida del agua químicamente unida a compuestos tales como algunas arcillas y agregados.

A los 900° C la caliza se descompone en cal viva (CaO) y dióxido de carbono (CO₂). Esta cal está lista para reaccionar y debe ser tratada rápidamente a la zona de clinkerización.

Los óxidos de hierro comienzan a reaccionar con la cal y la alúmina, para formar ferroaluminato tetracálcico líquido a la temperatura de 1300° C, a la que se disuelven los minerales, incrementando la reacción entre ellos.

A los 1338° C los materiales disueltos en el ferroaluminato tetracálcico (C₄AF) reaccionan, formando todo el silicato dicálcico (C₂S).

El aluminato tricálcico (C₃A) se termina de formar a los 1400° C. La cal que se encuentra en exceso reacciona con parte del silicato dicálcico (C₂S) para formar silicato tricálcico (C₃S).

El precalentador aumenta la capacidad de la unidad, ahorra energía y para el cuidado del medio ambiente, reduce la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

La temperatura de calcinación es de 1450° C. Ese calor se debe mantener constante en la zona de calcinación del horno para que se lleven a cabo la reacciones químicas.

El polvo calcinado y convertido en clínker pasa al enfriador, donde llega con una temperatura aproximada de 1000° C. En el enfriador, por medio de aire a presión se logra bajar la temperatura del clínker hasta los 40° C.

Parte del aire que se calienta al contacto con el clínker se aprovecha para incrementar la eficiencia de los precalentadores, el que tiene baja temperatura se va a la atmósfera a través de un colector de residuos que disminuye la emisión de polvo a la atmósfera.

3. **EMPLAZAMIENTO.**

El complejo se encuentra ubicado en el municipio de Alcalá de Guadaira (Sevilla), carretera A-92. Este dispone de una entrada, que da acceso a las diferentes partes de las que consta la instalación; edificio de molienda, silos y centros de transformación, mediante una carretera interior que circunda a todas ellas. Para ver su emplazamiento acudir a plano nº 1.



Ilustración 1. Vista de la instalación.

4. NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN APLICADA.

El diseño y la instalación de los materiales cumplirán con los requisitos de la última edición de los siguientes Reglamentos donde sean aplicables:

- **Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (B.O.E 1-12-82) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (B.O.E 1-08-84 y otros).**

Este Reglamento tiene por objeto establecer las condiciones y garantías técnicas a que han de someterse las instalaciones eléctricas de más de 1.000 voltios.

- **Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones complementarias (B.O.E 18-09-02).**

El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, REBT, es un reglamento de obligado cumplimiento que prescribe las condiciones de montaje, explotación y mantenimiento de instalaciones de baja tensión.

Según este reglamento en España se considera baja tensión aquella que es menor o igual a 1000 voltios en corriente alterna o 1500 voltios en caso de corriente continua.

5. PREVISIÓN DE POTENCIA.

LISTA DE CONSUMIDORES ELÉCTRICOS

5.1. Consumos de BT

| Código | Descripción | Potencia (kW) | Tensión (V) | cosφ |
|-------------|---|---------------|-------------|------|
| BA01-4G | Accto. Banda dosificadores clínker | 1,5 | 500 | 0,86 |
| BA02-4G | Accto. Banda dosificadores yeso | 0,37 | 500 | 0,86 |
| BA03-4G | Accto. Banda dosificadora caliza | 0,37 | 500 | 0,86 |
| CT01-4G | Accto. Banda transportadora molienda | 15 | 500 | 0,8 |
| BB01-4G | Accto. Bomba B.P cojinete libre | 4 | 500 | 0,86 |
| BB02-4G | Accto. Bomba A.P cojinete libre | 5,5 | 500 | 0,86 |
| BB03-4G | Accto. Bomba B.P cojinete fijo | 15 | 500 | 0,86 |
| BB04-4G | Accto. Bomba A.P cojinete fijo | 5,5 | 500 | 0,86 |
| BB05-4G | Accto. Recirculación filtro | 0,75 | 500 | 0,86 |
| RE1-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| RE2-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| RE3-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| RE4-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| RE5-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| E01-MAUX-4G | Accto. Electro-hidráulico freno zapatas aux. Molino | 0,3 | 500 | 0,86 |
| MAUX-4G | Accto. Motor auxiliar accto. Molino | 45 | 500 | 0,83 |
| RE6-ML01-4G | Calefacción compartimento estatórico accto. Molino | 0,65 | 500 | 0,86 |
| RE7-ML01-4G | Calefacción compartimento rotórico accto. Molino | 0,2 | 500 | 0,86 |
| CMM07-4G | Panel eléctrico reostato accto. Molino | 5,5 | 380 | ... |
| VE07-4G | Accto. Ventilador 1 inyección de agua | 1,5 | 500 | 0,86 |
| VE08-4G | Accto. Ventilador 2 inyección de agua | 1,5 | 500 | 0,86 |
| BB06-4G | Accto. Bomba agua inyección de agua | 4 | 500 | 0,86 |
| VM01-4G | Actuador regulador 1 inyección agua | 0,08 | 220 | 0,86 |
| VM02-4G | Actuador regulador 2 inyección agua | 0,08 | 220 | 0,86 |
| AR01-4G | Accto. Ventilador fluidor | 5,5 | 500 | 0,86 |
| EL01-4G | Accto motor principal elevador cangilones | 75 | 500 | 0,86 |
| AUX-EL01-4G | Accto motor principal auxiliar cangilones | 5,5 | 500 | 0,86 |
| AR02-4G | Accto. Ventilador fluidor | 7,5 | 500 | 0,86 |
| BB07-4G | Accto. Bomba lubricación Sepol | 1,5 | 500 | 0,86 |
| SP01-4G | Accto. Bomba motor Sepol | 315 | 500 | 0,86 |
| AR03-4G | Accto. Ventilador fluidor | 5,5 | 500 | 0,86 |
| RC01-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Molino | 3 | 500 | 0,86 |
| VE01-4G | Accto. Ventilador filtro mangas molino | 160 | 500 | 0,86 |
| AR04-4G | Accto. Fluidor filtro mangas Sepol | 2,2 | 500 | 0,86 |
| RC02-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Sepol | 4 | 500 | 0,86 |
| VE02-4G | Accto. Ventilador filtro mangas Sepol | 315 | 500 | 0,84 |

| | | | | |
|---------------|---|-------|-----|------|
| POLP1-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: motor elevación | 10 | 500 | 0,86 |
| POLP2-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: m. translación | 0,6 | 500 | 0,86 |
| POLP1-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Elev. | 4 | 500 | 0,86 |
| POLP2-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Trans. | 0,6 | 500 | 0,86 |
| POLP3-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Elevación | 20,6 | 500 | 0,86 |
| POLP4-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Translación | 1,9 | 500 | 0,86 |
| POLP1-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Elevación | 6,6 | 500 | 0,86 |
| POLP2-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Translación | 0,6 | 500 | 0,86 |
| BA04-4G | Accto rueda de medidad caud. Coriolis | 1,5 | 500 | 0,86 |
| AR06-4G | Accto. Ventilador fluidor | 4 | 500 | 0,86 |
| VE03-4G | Accto. Ventilador filtro mangas fluidor transp. Cenizas | 5,5 | 500 | 0,86 |
| AR07-4G | Accto. Ventilador fluidor del filtro de molino | 5,5 | 500 | 0,86 |
| ... | Alumbrado CT Molino | 0,144 | 400 | 0,8 |
| ... | Alumbrado CT Proceso | 0,432 | 400 | 0,8 |
| ... | Alumbrado Edificio Molienda | 17,1 | 400 | 0,8 |

5.2. Consumos de MT

| Código | Descripción | Potencia (kW) | Tensión (V) | cosφ |
|---------|--------------------------------------|---------------|-------------|------|
| ML01-4G | Accto. Motor principal Accto. Molino | 4200 | 6000 | 0,87 |

Atendiendo a la previsión de demanda de potencia de la instalación, se ha previsto una demanda total en baja tensión de 1093 kW trifásicos ($\cos\phi = 0.86$) y en media tensión de 4200 kW trifásicos ($\cos\phi = 0.87$).

Para satisfacer dicha demanda se proyecta la instalación de un transformador de 5.5 MVA destinado a la alimentación del motor del molino, ubicado en el centro de transformación de Molino. Y tres transformadores de 1250 KVA, 800 KVA, 50 KVA ubicados en el centro de transformación de Proceso, destinados a satisfacer la demanda de potencia de los consumidores de baja tensión.

6. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.

6.1 C.T MOLINO.

En este apartado se procede a definir las características, tanto de la aparamenta eléctrica empleada, como de las características constructivas del centro de transformación MT/MT

6.1.1 Características generales.

El centro de transformación a emplear en este proyecto es de tipo abonado, de obra civil de dimensiones 7.24x4.7x3 m, de acuerdo a las necesidades requeridas. Este está dotado de toda la aparamenta eléctrica, celdas de media tensión, demás equipos eléctricos y embarrados para realizar las conexiones necesarias. Ver plano nº 3.

La energía será suministrada por la compañía Sevillana Eléctrica a una tensión trifásica de 15 kV y frecuencia 50 Hz, siendo la acometida a través de cables subterráneos.

Acceso

El acceso al edificio se realizará a través de una puerta metálica de 9x2.1 mm de luz y apertura hacia el exterior. Se dispondrá de una segunda puerta de acceso para el transformador de apertura hacia el exterior.

Ventilación

El local dispone de un sistema de ventilación natural eficaz con el fin de asegurar la perfecta refrigeración del transformador y evitar la eventual formación de condensaciones. La ventilación desemboca al aire libre mediante rejillas verticales colocadas en las paredes laterales y traseras. Las rejillas de ventilación disponen de un sistema que evita la entrada de objetos extraños y agua procedente de la lluvia al interior del local.

Cableado

A continuación se resumen las características y disposición del cableado interior. El paso de los cables desde y hacia el exterior se realizará a través de unos orificios practicados en la solera.

Las canalizaciones en el interior del C.T se realizarán mediante cables unipolares aislados, permitiendo una distribución de los cables a través de los orificios regularmente repartidos a lo largo del piso que presenta la instalación. De esta forma se posibilita la agrupación de alta y baja tensión.

Superficie equipotencial

El C.T una vez montado, será una superficie equipotencial mediante la unión por soldadura eléctrica de las varillas embebidas en el hormigón, de acuerdo con lo prescrito en MIE-RAT 13, para evitar tensiones de paso y contacto.

Señalización

La instalación deberá estar correctamente señalizada debiendo disponerse las advertencias e instrucciones necesarias de modo que se impida cualquier tipo de accidente.

Se instalarán con este fin rótulos con indicación de existencia de instalaciones de A.T, en la puertas de acceso, así como placas de diferenciación en máquinas y celdas, panel de cuadros, y especialmente en los elementos de accionamiento de los aparatos de maniobra y en los propios aparatos, incluyendo la identificación de las posiciones de apertura y cierre.

Foso de recogida de aceite

Para la prevención de incendios, la solera estará equipada con un pozo de recogida de aceite, instalándose también con este fin, un extintor móvil.

Las dimensiones del pozo de recogida de aceite serán 1.5x1.5x1 m, en el fondo se dispondrá de un lecho de guijarros que servirá de cortafuego. Bajo el transformador se dispondrá de un revestimiento resistente y estanco que se conectará con el primero mediante tubería de fibrocemento de 125 mm de diámetro interior mínimo y una inclinación de 10 %.

Distribución Interior

El interior del centro de transformación se dividirá mediante un vallado metálico y amovible en dos zonas, una exclusivamente para la instalación del transformador de potencia y la segunda para la instalación de los elementos de seccionamiento, protección y medida, batería de condensadores...

6.1.2 Transformador.

Transformador de potencia en aceite, destinado a la alimentación del Motor del Molino 4200 kW.

| | |
|--|-----------------------|
| Potencia: | 5.5 MVA |
| Relación de transformación: | 15 / 6.6 kV |
| Ajustador del primario: | ± 2.5 , ± 5 % |
| Grupo de conexión: | Dyn11 |
| Protección incorporada al transformador: | Ninguna |

- Celda de ubicación del transformador

Consta de una amplia superficie de ventilación, puerta abisagrada de doble hoja, zócalo inferior desmontable para fácil extracción del transformador, mirillas en las puertas para inspección y lectura de niveles e indicadores. Contiene en su interior los siguientes aparatos y materiales debidamente montados y conexiados:

- 1 Transformador.
- Pletina de cobre electrolítico para puesta a tierra de la instalación.
- Cable de cobre desnudo de 50 mm² para puesta a tierra de aparellaje.
- Pequeño material y accesorios.

Cables de unión con el transformador

El cable a emplear en M.T del transformador será una terna unipolar de Cu 12/20 kV aislado en XLPE y características 3x(1x240 mm²) de sección.

En el secundario del transformador se empleará cable de Cu aislado en XLPE, Cu 12/20 kV y de 3x(2x70 mm²) de sección.

6.1.3 Características de las celdas de M.T.

La aparamenta de alta tensión empleada consiste en el sistema modular de celdas, consistente en módulos para el aparellaje bajo envoltorio metálica. Está formado por un conjunto de celdas modulares de media tensión con aislamiento y corte en SF₆, formadas por un bastidor autosoportante capaz de soportar las fuerzas electrodinámicas originadas en los cortocircuitos.

Cada una de las celdas formará por sí misma una unidad de conexión, y se unirán según el esquema previsto por medio de los elementos de unión, que establecerán la separación eléctrica y mecánica entre módulos adyacentes, esta separación se realiza por medio de dos placas aislantes que aseguran la independencia entre celdas en explotación normal y eviten la posible propagación de defectos entre celdas contiguas.

Los embarrados se realizarán a base de puentes entre contactos fijos, lo cual ahorra derivaciones, evitando las uniones de barras, con la consiguiente disminución de pérdidas eléctricas y generación de calor. Se emplearán unos elementos denominados "conjuntos de unión", consiguiendo una unión totalmente apantallada, e insensible a las condiciones externas (polución, salinidad, inundación...).

Entrada: Interruptor-Seccionador

La línea de acometida llegará mediante canalización subterránea, por lo tanto el acceso se realizará por la parte inferior de la celda y la salida se realizará por la parte superior. Es una celda con envolvente metálica, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 370 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 135 Kg de peso.

La celda de interruptor-seccionador, o celda de línea, está constituida básicamente por una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornes enchufables.

Salida: Interruptor-Seccionador

La conexión con la celda de entrada se realizará por la parte superior de ésta, y la salida por la parte inferior. Es una celda con envolvente metálica, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 370 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 135 Kg de peso.

La celda de interruptor-seccionador, o celda de línea, está constituida básicamente por una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornes enchufables.

Seccionamiento Compañía: Interruptor pasante

Celda con envolvente metálico, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 420 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 125 Kg de peso. La celda interruptor pasante está constituida por un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, para aislar las partes izquierda y derecha del mismo.

Protección General

Celda con envolvente metálico, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 480 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 218 Kg de peso.

Medida

Celda con envolvente metálico, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 800 mm de ancho por 1025 mm de fondo por 1800 mm de alto y 180 Kg de peso.

La celda de medida es un módulo metálico, que permite la incorporación en su interior de los transformadores de tensión e intensidad que se utilizan para dar los valores correspondientes a los contadores de medida de energía.

Por su constitución, ésta celda puede incorporar los transformadores de cada tipo (tensión e intensidad), normalizados en las distintas compañías suministradoras de electricidad.

La medida de energía será única y se realizará mediante un cuadro de contadores conectado al secundario de los transformadores de intensidad y de tensión de la celda de medida.

Conjunto de medida de energía, que incluye tubo de acero galvanizado de 12 mm de diámetro y sus fijaciones, circuito de intensidad y de tensión con cable de 6 mm², un módulo de medida de tarifa única que incluye una escala de contaje con maxímetro, contador de activa y contador de reactiva. El equipo de contaje se instalará en un armario dispuesto con ese fin, las dimensiones del armario serán 1100x700x300 mm, estará provisto de regletas de bornes de comprobación y dispositivo de precintado.

La regleta de comprobación permitirá, sin cortar la alimentación, cortocircuitar los secundarios de los transformadores de intensidad y además:

- Realizar tomas adecuadas para los aparatos de comprobación, con el fin de verificar el contaje de la energía consumida y otros parámetros (intensidad, tensión...).
- Abrir los circuitos de tensión, para poder manipular sin peligro (montar, desmontar, etc), los contadores y demás elementos de control del equipo de medida.

Remonte: Celda de Remonte

Celda con envolvente metálica, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 370 mm de ancho por 780 mm de fondo por 1800 mm de alto y 42 Kg de peso.

La celda de remonte es un módulo metálico, construido en chapa galvanizada, que permite efectuar el remonte de cables desde la parte inferior a la parte superior de las celdas. Esta celda se unirá mecánicamente a las adyacentes, para evitar el acceso a los cables.

Protección Transformador 5.5 MVA

Celda con envolvente metálica, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, (200 A en salida inferior), 480 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 218 Kg de peso.

La celda está constituida por un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornes enchufables. Las celdas también irán equipadas con el sistema autónomo de protección RPTA cuya función es la de proteger contra sobreintensidades (51), fugas a tierra u homopolar (50N), y sobrecalentamientos a través de disparo externo por termostato.

Protección de Línea

Celda con envolvente metálico, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 480 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 218 Kg de peso.

Protección Motor Molino

Celda con envolvente metálico, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 480 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 218 Kg de peso.

Protección Batería de Condensadores 1200 kVar

Celda con envolvente metálico, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 480 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 218 Kg de peso.

6.1.4 Batería de Condensadores.

Con objeto de mejorar el factor de potencia de la instalación a $\cos\phi = 0.98$ se proyecta la instalación de una batería de condensadores fija de 1200 kVar (datos incluidos en *CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS*), que generará la reactiva consumida por los receptores, con lo que se consigue evitar el pago de penalizaciones por consumo de esta energía y una disminución de la potencia total aparente consumida.

Como característica de funcionamiento de la batería de condensadores en caso de avería del transformador, se deberá desconectar la batería de condensadores mediante una bobina de disparo, de este modo se evita la ferresonancia entre batería y transformador.

Para la protección de la batería de condensadores se dispondrá de un interruptor automático de características indicadas en “*CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS*”.

Este circuito se dispondrá en cable de Cu 12/20 kV aislado en XLPE y características (3x50 mm²) de sección. En el interior del armario será necesario hacer la conexión del circuito de potencia y de los circuitos auxiliares para la alimentación del regulador.

6.1.5 SAI 110 Vcc.

Son equipos que por su concepción autónoma, permiten realizar suministro aún cuando no exista suministro de red. Para ello incorporan baterías, cargador de baterías y ondulator, la finalidad de este último, es convertir la corriente continua procedente de los acumuladores, en corriente alterna iguales características que la red, pero exenta de los problemas de ruidos y variaciones que la afectan. Las prestaciones más generales que deben aportar dichos equipos son: -Aislar la carga que se alimenta de la red. -Estabilizar el voltaje y la frecuencia de salida. -Evitar picos y efectos parásitos de la red eléctrica. - Almacenar energía en las baterías, las cuales la suministrarán por un periodo fijo de tiempo, cuando haya un corte de corriente. Ésta energía almacenada permitirá llevar a cabo la manipulación de las celdas motorizadas de M.T en caso de fallo de suministro de la red.

6.1.6 Panoplia Seguridad.

Se incluirá en el centro de transformación el material de seguridad siguiente:

- Pértiga de presencia de tensión
- Pértiga de salvamento
- Guantes aislantes
- Banqueta aislante
- Extintor

6.2 C.T PROCESO.

6.2.1 Características generales.

El centro de transformación a emplear en este proyecto es de tipo abonado, de obra civil de dimensiones 14.5x11x3 m, de acuerdo a las necesidades requeridas. Este está dotado de toda la aparamenta eléctrica, celdas de media tensión, demás equipos eléctricos y embarrados para realizar las conexiones necesarias. Ver plano nº 4.

Acceso

El acceso al edificio se realizará a través de una puerta metálica de 9x2.1 mm de luz y apertura hacia el exterior. Se dispondrá de una segunda puerta de acceso para el transformador de apertura hacia el exterior.

Ventilación

El local dispone de un sistema de ventilación natural eficaz con el fin de asegurar la perfecta refrigeración del transformador y evitar la eventual formación de condensaciones. La ventilación desemboca al aire libre mediante rejillas verticales colocadas en las paredes laterales y traseras. Las rejillas de ventilación disponen de un sistema que evita la entrada de objetos extraños y agua procedente de la lluvia al interior del local.

Cableado

A continuación se resumen las características y disposición del cableado interior. El paso de los cables desde y hacia el exterior se realizará a través de unos orificios practicados en la solera.

Las canalizaciones en el interior del C.T se realizarán mediante cables unipolares aislados, permitiendo una distribución de los cables a través de los orificios regularmente repartidos a lo largo del piso que presenta la instalación. De esta forma se posibilita la agrupación de alta y baja tensión.

Superficie equipotencial

El C.T una vez montado, será una superficie equipotencial mediante la unión por soldadura eléctrica de las varillas embebidas en el hormigón, de acuerdo con lo prescrito en MIE-RAT 13, para evitar tensiones de paso y contacto.

Señalización

La instalación deberá estar correctamente señalizada debiendo disponerse las advertencias e instrucciones necesarias de modo que se impida cualquier tipo de accidente.

Se instalarán con este fin rótulos con indicación de existencia de instalaciones de A.T, en la puertas de acceso, así como placas de diferenciación en máquinas y celdas, panel de cuadros, y especialmente en los elementos de accionamiento de los aparatos de maniobra y en los propios aparatos, incluyendo la identificación de las posiciones de apertura y cierre.

Foso de recogida de aceite

Para la prevención de incendios, la solera estará equipada con un pozo de recogida de aceite, instalándose también con este fin, un extintor móvil.

Las dimensiones de los pozos de recogida de aceite serán 1x1.5x1 m, en el fondo se dispondrá de un lecho de gujarros que servirá de cortafuego. Bajo el transformador se dispondrá de un revestimiento resistente y estanco que se conectará con el primero mediante tubería de fibrocemento de 125 mm de diámetro interior mínimo y una inclinación de 10 %.

Distribución Interior

El interior del centro de transformación se dividirá mediante un vallado metálico y amovible en dos zonas, una exclusivamente para la instalación de los transformadores de potencia y la segunda para la instalación de los elementos de seccionamiento, protección y medida, batería de condensadores...

6.2.2 Transformadores.

- Debido al nivel de tensiones característico de la instalación y principalmente por las posibles perturbaciones de armónicos que pueden introducir en la instalación los motores, debido a su arranque mediante variadores de frecuencia, se proyecta la instalación de un transformador de potencia en aceite, destinado a la alimentación del Motor SEPOL (315 kW), ventilador filtro mangas SEPOL (315 kW) y ventilador filtro mangas Molino (160 kW).

| | |
|--|---------------|
| Potencia: | 1250 KVA |
| Relación de transformación: | 15 kV / 720 V |
| Ajustador del primario: | ±2.5, ±5 % |
| Grupo de conexión: | Dyn11 |
| Protección incorporada al transformador: | Ninguna |

Cables de unión con el transformador de 1250 KVA

El cable a emplear en M.T del transformador será una terna unipolar de Cu 12/20 kV aislado en XLPE y características $3 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)$ de sección.

En el secundario del transformador se empleará cable de Cu aislado en XLPE, Cu 0.6/1 kV y de $3 \times (2 \times 240 \text{ mm}^2)$ de sección.

- Transformador de potencia en aceite para alimentar al CCM y batería de condensadores.

| | |
|--|---------------------|
| Potencia: | 800 KVA |
| Relación de transformación: | 15 kV / 525 V |
| Ajustador del primario: | $\pm 2.5, \pm 5 \%$ |
| Grupo de conexión: | Dyn11 |
| Protección incorporada al transformador: | Ninguna |

Cables de unión con el transformador de 800 KVA

El cable a emplear en M.T del transformador será una terna unipolar de Cu 12/20 kV aislado en XLPE y características $3 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)$ de sección.

En el secundario del transformador se empleará cable de Cu aislado en XLPE, Cu 0.6/1 kV y de $3 \times (1 \times 185 \text{ mm}^2)$ de sección.

- Transformador de potencia en aceite para alumbrado y demás consumos.

| | |
|--|---------------------|
| Potencia: | 50 KVA |
| Relación de transformación: | 525 V / 400-230 V |
| Ajustador del primario: | $\pm 2.5, \pm 5 \%$ |
| Grupo de conexión: | Dyn11 |
| Protección incorporada al transformador: | Ninguna |

Cables de unión con el transformador de 50 KVA

El cable a emplear en el primario del transformador será una terna unipolar de Cu 0.6/1 kV aislado en XLPE y características $3 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2)$ de sección.

En el secundario del transformador se empleará cable de Cu aislado en XLPE, Cu 0.6/1 kV y de $(3 \times 16 \text{ mm}^2)$ de sección.

- Celda de ubicación de los transformadores.

Consta de una amplia superficie de ventilación, puerta abisagrada de doble hoja, zócalo inferior desmontable para fácil extracción del transformador, mirillas en las puertas para inspección y lectura de niveles e indicadores. Contiene en su interior los siguientes aparatos y materiales debidamente montados y conexiados:

- 1 Transformador.
- Pletina de cobre electrolítico para puesta a tierra de la instalación.
- Cable de cobre desnudo de 50 mm^2 para puesta a tierra de aparellaje.
- Pequeño material y accesorios.

6.2.3 Características de las celdas de M.T.

La aparamenta de alta tensión empleada consiste en el sistema modular de celdas, consistente en módulos para el aparellaje bajo envolvente metálica. Está formado por un conjunto de celdas modulares de media tensión con aislamiento y corte en SF₆, formadas por un bastidor autosoportante capaz de soportar las fuerzas electrodinámicas originadas en los cortocircuitos.

Cada una de las celdas formará por sí misma una unidad de conexión, y se unirán según el esquema previsto por medio de los elementos de unión, que establecerán la separación eléctrica y mecánica entre módulos adyacentes, esta separación se realiza por medio de dos placas aislantes que aseguran la independencia entre celdas en explotación normal y eviten la posible propagación de defectos entre celdas contiguas.

Los embarrados se realizarán a base de puentes entre contactos fijos, lo cual ahorra derivaciones, evitando las uniones de barras, con la consiguiente disminución de pérdidas eléctricas y generación de calor. Se emplearán unos elementos denominados "conjuntos de unión", consiguiendo una unión totalmente apantallada, e insensible a las condiciones externas (polución, salinidad, inundación...).

Remonte: Celda de Remonte

Celda con envolvente metálica, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, 370 mm de ancho por 780 mm de fondo por 1800 mm de alto y 42 Kg de peso.

La celda de remonte es un módulo metálico, construido en chapa galvanizada, que permite efectuar el remonte de cables desde la parte inferior a la parte superior de las celdas. Esta celda se unirá mecánicamente a las adyacentes, para evitar el acceso a los cables.

Protección Transformador 1250 KVA

Celda con envolvente metálica, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, (200 A en salida inferior), 480 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 218 Kg de peso.

La celda está constituida por un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornes enchufables. Las celdas también irán equipadas con el sistema autónomo de protección RPTA cuya función es la de proteger contra sobreintensidades (51), fugas a tierra u homopolar (50N), y sobrecalentamientos a través de disparo externo por termostato.

Protección Transformador 800 KVA

Celda con envolvente metálica, formada por un módulo de $U_n=24$ kV e $I_n=400$ A, (200 A en salida inferior), 480 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 218 Kg de peso.

La celda está constituida por un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornes enchufables. Las celdas también irán equipadas con el sistema autónomo de protección RPTA cuya función es la de proteger contra sobreintensidades (51), fugas a tierra u homopolar (50N), y sobrecalentamientos a través de disparo externo por termostato.

6.2.4 Batería de Condensadores.

Con objeto de mejorar el factor de potencia de la instalación a $\cos\phi = 0.98$ se proyecta la instalación de una batería de condensadores regulable de 475 kVar (datos incluidos en *CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS*), que generará la reactiva consumida por los receptores, con lo que se consigue evitar el pago de penalizaciones por consumo de esta energía y una disminución de la potencia total aparente consumida.

Como característica de funcionamiento de la batería de condensadores en caso de avería del transformador, se deberá desconectar la batería de condensadores mediante una bobina de disparo, de este modo se evita la ferresonancia entre batería y transformador.

Para la protección de la batería de condensadores se dispondrá de un interruptor automático de características indicadas en “*CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS*”.

Este circuito se dispondrá en cable de Cu 0.6/1 kV aislado en XLPE y características $3 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2)$ de sección. En el interior del armario será necesario hacer la conexión del circuito de potencia y de los circuitos auxiliares para la alimentación del regulador.

6.2.5 Variadores.

Para proceder al arranque del Motor SEPOL (315 kW), ventilador filtro mangas SEPOL (315 kW) y ventilador filtro mangas Molino (160 kW), se dispondrá de variadores de frecuencia, debido principalmente al elevado par de arranque que presentan estos motores y por lo tanto a la necesidad de proceder a un arranque suave hasta su velocidad nominal.

Dichos variadores tienen unas dimensiones de 2.2x0.6x1 m, con un rango de operación de tensión de más de 690 V.

6.2.6 CCM/CGDBT.

- **CCM**

Envolvente de 3.5x2.5x1 m destinado a agrupar las protecciones de los distintos motores de la instalación de hasta 500 V.

Básicamente el CCM dispondrá de un interruptor general, barras de distribución y 42 salidas a los distintos motores a los que alimenta. Cada circuito dispondrá de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Debido al elevado par de arranque del motor del molino, se procede a la instalación de un arrancador líquido, el cual ofrece una continua y progresiva variación del valor de resistencia, permitiendo un arranque suave del motor. Este tipo de arrancadores difiere básicamente de los convencionales por su simplicidad mecánica y eléctrica, no posee partes mecánicas móviles ni contactos electromecánicos de potencia para la conmutación, teniendo por lo tanto una vida útil mayor con menor requerimiento de manutención.

- **CGDBT**

Se diferenciará por una lado el CGDBT1 de dimensiones 1.5x1.8x1, destinado a agrupar los distintos interruptores de protección de los motores arrancados mediante variadores y por otro, el CGDBT2 de dimensiones 1.5x1.8x1, destinado a agrupar las protecciones del CCM, transformador de potencia de 50 KVA y batería de condensadores de 475 kVar.

- **Alumbrado**

Envolvente de 1.8x2x1 m. Básicamente el cuadro de alumbrado dispondrá de un interruptor general, barras de distribución y 6 salidas, 3 de ellas destinadas a la alimentación de motores de hasta 380 V. Cada circuito dispondrá de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Las protecciones serán interruptores automáticos magnetotérmicos, siendo la actuación magnética fija y la térmica regulable. Las características de cada circuito son:

LISTA DE PROTECCIONES DE B.T

CGDBT1

Interruptores Automáticos

| Código | Descripción | Tensión (V) | In (A) | Icc (kA) |
|---------|--|-------------|--------|----------|
| ... | Cabecera | 690 | 1250 | 20 |
| SP01-4G | Accto. Bomba motor Sepol | 690 | 400 | 20 |
| VE02-4G | Accto. Ventilador filtro mangas Sepol | 690 | 630 | 20 |
| VE01-4G | Accto. Ventilador filtro mangas molino | 690 | 320 | 20 |

CGDBT2

Interruptores Automáticos

| Código | Descripción | Tensión (V) | In (A) | Icc (kA) |
|--------|--|-------------|--------|----------|
| ... | Cabecera | 690 | 1250 | 25 |
| ... | Protección entrada CCM | 690 | 320 | 25 |
| ... | Protección primario transformador de 50 KVA | 690 | 160 | 15 |
| ... | Protección batería de condensadores 475 kVar | 690 | 630 | 25 |

CCM

Interruptores Automáticos

| Código | Descripción | Tensión (V) | In (A) | Icc (kA) |
|-------------|--|-------------|--------|----------|
| BA01-4G | Accto. Banda dosificadores clínker | 690 | 80 | 50 |
| BA02-4G | Accto. Banda dosificadores yeso | 690 | 80 | 50 |
| BA03-4G | Accto. Banda dosificadora caliza | 690 | 80 | 50 |
| CT01-4G | Accto. Banda transportadora molienda | 690 | 80 | 50 |
| BB01-4G | Accto. Bomba B.P cojinete libre | 690 | 80 | 50 |
| BB02-4G | Accto. Bomba A.P cojinete libre | 690 | 80 | 50 |
| BB03-4G | Accto. Bomba B.P cojinete fijo | 690 | 80 | 50 |
| BB04-4G | Accto. Bomba A.P cojinete fijo | 690 | 80 | 50 |
| BB05-4G | Accto. Recirculación filtro | 690 | 80 | 50 |
| RE1-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| RE2-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| RE3-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| RE4-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| RE5-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |

| | | | | |
|---------------|---|-----|-----|----|
| E01-MAUX-4G | Accto. Electro-hidráulico freno zapatas aux. Molino | 690 | 80 | 50 |
| MAUX-4G | Accto. Motor auxiliar accto. Molino | 690 | 80 | 50 |
| RE6-ML01-4G | Calefacción compartimento estatórico accto. Molino | 690 | 80 | 50 |
| RE7-ML01-4G | Calefacción compartimento rotórico accto. Molino | 690 | 80 | 50 |
| VE07-4G | Accto. Ventilador 1 inyección de agua | 690 | 80 | 50 |
| VE08-4G | Accto. Ventilador 2 inyección de agua | 690 | 80 | 50 |
| BB06-4G | Accto. Bomba agua inyección de agua | 690 | 80 | 50 |
| AR01-4G | Accto. Ventilador fluidor | 690 | 80 | 50 |
| EL01-4G | Accto motor principal elevador cangilones | 690 | 160 | 25 |
| AUX-EL01-4G | Accto motor principal auxiliar cangilones | 690 | 80 | 50 |
| AR02-4G | Accto. Ventilador fluidor | 690 | 80 | 50 |
| BB07-4G | Accto. Bomba lubricación Sepol | 690 | 80 | 50 |
| AR03-4G | Accto. Ventilador fluidor | 690 | 80 | 50 |
| RC01-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Molino | 690 | 80 | 50 |
| AR04-4G | Accto. Fluidor filtro mangas Sepol | 690 | 80 | 50 |
| RC02-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Sepol | 690 | 80 | 50 |
| POLP1-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: motor elevación | 690 | 80 | 50 |
| POLP2-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: m. translación | 690 | 80 | 50 |
| POLP1-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Elev. | 690 | 80 | 50 |
| POLP2-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Trans. | 690 | 80 | 50 |
| POLP3-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Elevación | 690 | 80 | 50 |
| POLP4-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Translación | 690 | 80 | 50 |
| POLP1-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Elevación | 690 | 80 | 50 |
| POLP2-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Translación | 690 | 80 | 50 |
| BA04-4G | Accto rueda de medidad caud. Coriolis | 690 | 80 | 50 |
| AR06-4G | Accto. Ventilador fluidor | 690 | 80 | 50 |
| VE03-4G | Accto. Ventilador filtro mangas fluidor tpte. Cenizas | 690 | 80 | 50 |
| AR07-4G | Accto. Ventilador fluidor del filtro de molino | 690 | 80 | 50 |

Cuadro de Alumbrado

Interruptores Automáticos

| Código | Descripción | Tensión (V) | In (A) | Icc (kA) |
|----------|--|-------------|--------|----------|
| ... | Cabecera | 500 | 125 | 16 |
| ... | Alumbrado CT Molino | 500 | 125 | 16 |
| ... | Alumbrado CT Proceso | 500 | 125 | 16 |
| ... | Alumbrado Edificio Molienda | 500 | 125 | 16 |
| CMM07-4G | Panel eléctrico reostato accto. Molino | 500 | 125 | 16 |
| VM01-4G | Actuador regulador 1 inyección agua | 500 | 125 | 16 |
| VM02-4G | Actuador regulador 2 inyección agua | 500 | 125 | 16 |

6.2.7 SAI 110 Vcc.

Son equipos que por su concepción autónoma, permiten realizar suministro aún cuando no exista suministro de red. Para ello incorporan baterías, cargador de baterías y ondulator, la finalidad de este último, es convertir la corriente continua procedente de los acumuladores, en corriente alterna iguales características que la red, pero exenta de los problemas de ruidos y variaciones que la afectan. Las prestaciones más generales que deben aportar dichos equipos son:

- Aislar la carga que se alimenta de la red. -Estabilizar el voltaje y la frecuencia de salida.
- Evitar picos y efectos parásitos de la red eléctrica.
- Almacenar energía en las baterías, las cuales la suministrarán por un periodo fijo de tiempo, cuando haya un corte de corriente. Ésta energía almacenada permitirá llevar a cabo la manipulación de las celdas motorizadas de M.T en caso de fallo de suministro de la red.

6.2.8 Panoplia de Seguridad.

Se incluirá en el centro de transformación el material de seguridad siguiente:

- Pértiga de presencia de tensión
- Pértiga de salvamento
- Guantes aislantes
- Banqueta aislante
- Extintor

7. CANALIZACIONES Y CABLES.

7.1 Trazado.

En este apartado se procede a diferenciar el trazado de las diferentes líneas de las que consta la instalación; media tensión y baja tensión.

El trazado de la línea de media tensión comprenderá, por un lado, la línea de acometida en bucle al centro de transformación de Molino, distribución interior de alimentación a la batería de condensadores de 1200 kVar, alimentación al Motor del Molino y unión entre los dos centros de transformación.

El trazado de la línea de unión de los dos centros de transformación y la línea de alimentación del Motor del Molino será lo más rectilíneo posible y discurrirá paralela a la calzada en toda su longitud. Ver plano nº 1.

El trazado de las líneas de baja tensión será al aire, distribuidas por el Edificio de Molienda hasta cada uno de los receptores. Se tendrá en cuenta que el radio mínimo que hay que dejar en la curva, con arreglo a la sección del conductor y que será $10 \times (D+d)$, siendo D el diámetro exterior del cable y d el diámetro del conductor.

7.2 Diámetro de tubos.

Las líneas de media tensión; alimentación al Motor del Molino y unión entre ambos centros de transformación se realizará en canalización entubada, constituidos por tubos termoplásticos enterrados en zanjas de 1 m de profundidad por 0.8 m de ancho. Ver plano nº 5.

Cuando se produzcan cruces a través de calzada los tubos estarán hormigonados en todo su recorrido. El fondo de la zanja en que se alojarán, se dispondrá de una capa de arena fina o arena cribada de 15 cm con el fin de facilitar el drenaje de las aguas de filtración. Se dispondrá de una hilera de ladrillos rojos además de una cinta plástica con indicación de cables eléctricos en tensión.

Para el circuito del Motor del Molino deberá instalarse un tubo de 160 mm de diámetro exterior por cada terna de cables. Para la línea de unión entre ambos centros de transformación se instalará un tubo de 240 mm de diámetro exterior por cada terna de cables.

7.3 Bandejas.

Para la distribución de los cables aéreos por el interior del edificio de molienda, se emplearán bandejas metálicas, de chapa de acero galvanizado. Siempre que haya cables de diferente tensión en la misma bandeja, se agruparán por clases de tensión dejando una reserva del 25%. Si se usan bandejas múltiples, la agrupación de tensiones se realizará por bandejas independientes.

Las bandejas de cables se soportarán cada 1 m, en tendido longitudinal (basado en una carga uniforme de 75 kg/m), y sus recorridos se elegirán de forma que se evite la posibilidad de daños mecánicos. Los cables se soportarán en la bandeja de modo que queden tirantes y no descolgados, produciendo un mal efecto. En general, la distancia entre grapas o abrazaderas no será superior a 600 mm en tramos horizontales y de 1200 mm en tramos verticales.

7.4 Cables.

LISTA DE CABLES ELÉCTRICOS

| Código | Descripción | Sección |
|-------------|---|----------|
| BA01-4G | Accto. Banda dosificadores clínker | 3x(1x70) |
| BA02-4G | Accto. Banda dosificadores yeso | 3x(1x70) |
| BA03-4G | Accto. Banda dosificadora caliza | 3x(1x70) |
| CT01-4G | Accto. Banda transportadora molienda | 3x(1x70) |
| BB01-4G | Accto. Bomba B.P cojinete libre | 3x(1x70) |
| BB02-4G | Accto. Bomba A.P cojinete libre | 3x(1x70) |
| BB03-4G | Accto. Bomba B.P cojinete fijo | 3x(1x70) |
| BB04-4G | Accto. Bomba A.P cojinete fijo | 3x(1x70) |
| BB05-4G | Accto. Recirculación filtro | 3x(1x70) |
| RE1-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 3x(1x70) |
| RE2-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 3x(1x70) |
| RE3-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 3x(1x70) |
| RE4-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 3x(1x70) |
| RE5-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 3x(1x70) |
| E01-MAUX-4G | Accto. Electro-hidráulico freno zapatas aux. Molino | 3x(1x70) |
| MAUX-4G | Accto. Motor auxiliar accto. Molino | 3x(1x70) |
| RE6-ML01-4G | Calefacción compartimento estatórico accto. Molino | 3x(1x70) |
| RE7-ML01-4G | Calefacción compartimento rotórico accto. Molino | 3x(1x70) |
| CMM07-4G | Panel eléctrico reostato accto. Molino | (3,5x16) |
| VE07-4G | Accto. Ventilador 1 inyección de agua | 3x(1x70) |
| VE08-4G | Accto. Ventilador 2 inyección de agua | 3x(1x70) |
| BB06-4G | Accto. Bomba agua inyección de agua | 3x(1x70) |
| VM01-4G | Actuador regulador 1 inyección agua | (3,5x16) |
| VM02-4G | Actuador regulador 2 inyección agua | (3,5x16) |



| | | |
|---------------|---|-----------|
| AR01-4G | Accto. Ventilador fluidor | 3x(1x70) |
| EL01-4G | Accto motor principal elevador cangilones | 3x(1x70) |
| ML01-4G | Accto. Motor principal accto. Molino | 3x(2x150) |
| AUX-EL01-4G | Accto motor principal auxiliar cangilones | 3x(1x70) |
| AR02-4G | Accto. Ventilador fluidor | 3x(1x70) |
| BB07-4G | Accto. Bomba lubricación Sepol | 3x(1x70) |
| SP01-4G | Accto. Bomba motor Sepol | 3x(2x150) |
| AR03-4G | Accto. Ventilador fluidor | 3x(1x70) |
| RC01-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Molino | 3x(1x70) |
| VE01-4G | Accto. Ventilador filtro mangas molino | 3x(2x150) |
| AR04-4G | Accto. Fluidor filtro mangas Sepol | 3x(1x70) |
| RC02-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Sepol | 3x(1x70) |
| VE02-4G | Accto. Ventilador filtro mangas Sepol | 3x(2x150) |
| POLP1-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: motor elevación | 3x(1x70) |
| POLP2-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: m. translación | 3x(1x70) |
| POLP1-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Elev. | 3x(1x70) |
| POLP2-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Trans. | 3x(1x70) |
| POLP3-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Elevación | 3x(1x70) |
| POLP4-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Translación | 3x(1x70) |
| POLP1-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Elevación | 3x(1x70) |
| POLP2-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Translación | 3x(1x70) |
| BA04-4G | Accto rueda de medidad caud. Coriolis | 3x(1x70) |
| AR06-4G | Accto. Ventilador fluidor | 3x(1x70) |
| VE03-4G | Accto. Ventilador filtro mangas fluidor transp. Cenizas | 3x(1x70) |
| AR07-4G | Accto. Ventilador fluidor del filtro de molino | 3x(1x70) |
| ... | Alumbrado CT Molino | (3,5x16) |
| ... | Alumbrado CT Proceso | (3,5x16) |
| ... | Alumbrado Edificio Molienda | (3,5x16) |
| ... | Acometida | 3x(1x240) |
| ... | A.T Transformador de 5,5 MVA | 3x(1x150) |
| ... | B.T Transformador de 5,5 MVA | 3x(2x70) |
| ... | Batería de Codensadores 1200 kVar | (3x50) |
| ... | Unión entre centros de transformación | 3x(1x240) |
| ... | A.T Transformador de 1250 KVA | 3x(1x150) |
| ... | B.T Transformador de 1250 KVA | 3x(2x240) |
| ... | A.T Transformador de 800 KVA | 3x(1x150) |
| ... | B.T Transformador de 800 KVA | 3x(1x185) |
| ... | Batería de Codensadores 475 kVar | 3x(1x120) |
| ... | A.T Transformador de 50 KVA | 3x(1x120) |
| ... | B.T Transformador de 50 KVA | (3x16) |
| ... | Unión CCM | 3x(1x120) |

8. RED DE TIERRAS / PARARRAYOS.

8.1 CT Molino.

Se dispondrán dos circuitos independientes para la puesta a tierra:

- Puesta a tierra de protección: destinada a conectar a tierra las masas de la aparamenta de media y baja tensión, cuba del transformador...
- Puesta a tierra del neutro: destinada a la puesta a tierra del neutro de B.T.

Puesta tierra de protección

De acuerdo con las condiciones expuestas en el apartado 1.1 del MIE-RAT 13 en lo referente al máximo valor admisible de las tensiones de paso y de contacto en un centro de transformación, la puesta a tierra de protección se dispondrá mediante ocho picas de acero cobrizado, de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro, dispuestas en los vértices de un rectángulo de 8x6 m. El conjunto descrito se enterrará a una profundidad de 0.5m.

Para el cálculo de la puesta a tierra se ha partido de una intensidad de defecto máxima de 600 A, dato aportado por la compañía suministradora.

Considerando la resistividad del terreno de 250 $\Omega \cdot m$, con el conjunto descrito se consigue una resistencia de puesta a tierra de 14.3 Ω .

Los valores obtenidos de tensión de paso, tensión de paso en el acceso y de defecto son: $V_p = 1860$ V, V_p (acc) = 5610 V, $V_d = 8550$ V, que como se puede comprobar en “*CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS*” son inferiores a los valores máximos admisibles.

Los cálculos necesarios para dimensionar la puesta a tierra, e incluidos es “*CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS*”, se han realizado a partir de los parámetros incluidos en las normas UNESA.

En la pared interior del C.T, se dispondrá de un conductor de cobre desnudo de 50 mm² de sección, al que se conectarán, mediante conductores de Cu de igual sección que el anterior, toda la aparamenta de M.T, herrajes, cuba del transformador y celdas prefabricadas; así como todos los elementos de B.T, canalizaciones, armazón de cuadros...

Todos los conductores empleados han sido dimensionados teniendo en cuenta la densidad de corriente y calentamiento.

En el interior de las celdas todos los elementos se conectarán a la pletina de puesta a tierra que esta dispondrán.

El C.T por construcción, constituye una superficie equipotencial. En el suelo del CT, se instalará un mallado electrosoldado, con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0.3x0.3 m embebido en el suelo de

hormigón del centro de transformación a una profundidad de 0.10 m. Este mallado se conectará a la tierra de protección mediante conductores de Cu de 50 mm² en dos puntos opuestos.

Puesta tierra de servicio

Para la puesta a tierra del neutro se instalarán dos picas de acero cobrizado de 2 m de longitud, 14 mm de diámetro, enterradas a una profundidad de 0.5 m y separadas entre si 6 m dispuestas en hilera.

El punto de puesta a tierra del neutro según los cálculos realizados se dispondrá a una distancia superior a 24 m del C.T, instalándose a una distancia entre la puesta a tierra del neutro y la de protección de 30 m. En este punto se colocará una arqueta y en su interior se instalará un seccionador de tierra.

La unión del neutro del transformador con el punto de puesta a tierra se realizará con conductor bajo tubo de PVC rígido de 110 mm de diámetro, de grado de protección 7 como mínimo.

Todo el conductor empleado será de cobre de 50 mm² de sección.

8.2 CT Proceso.

Para la puesta a tierra del CT de Proceso, se dispondrán las mismas condiciones que lo expuesto para el CT de Molino. Ver plano nº 4.

En este caso por las mayores dimensiones del centro de transformación, el mallado será de dimensiones 17x12 m, por lo que se tiene la seguridad de que si para el caso anterior los valores máximos admisibles de tensión se cumplían, este último cumple las condiciones establecidas en el MIE-RAT 13 con mayor razón, pues al ser de mayores dimensiones, presentará una menor resistencia de puesta a tierra y una mejor disipación de las corrientes de defecto.

8.3 Edificio Molienda.

Se dotará al edificio de molienda de un anillo externo de puesta a tierra con uniones malladas, de conductor desnudo de cobre rígido de 50 mm² de sección. El anillo exterior se unirá a varios embarrados de conexión situados en el edificio. A los embarrados se conectarán las líneas principales de tierra de las instalaciones y masas metálicas del edificio siguientes:

- Las instalaciones de depósitos, maquinaria, guía de aparatos elevadores, bandejas portacables y en general todo elemento metálico importante del edificio.
- Estructuras: Todas las estructuras metálicas del edificio, armaduras metálicas de zapatas, soportes y muros de hormigón del edificio deberán ser puestas a tierra

Empleando en estos casos conductor de cobre desnudo de 95 mm^2 de sección, derivándose un punto de conexión a cada aparato, desde los cuales se unirán al anillo externo de puesta a tierra. Ver plano nº 16.

Se obtiene una resistencia de puesta a tierra de 53Ω .

8.4 Pararrayos.

Se dispondrá de un pararrayos para proteger la instalación en caso de descarga atmosférica tipo rayo. El terminal aéreo del pararrayos debe de superar como mínimo dos metros la máxima cota de la estructura a proteger.

El radio de cobertura será determinado por la longitud resultante desde la ubicación del terminal aéreo de captación hasta el punto más desfavorable de la estructura a proteger, con un margen de seguridad de un $+10\%$ y en ningún caso superar radios de más de 100 metros.

Las bajantes a tierra serán lo más vertical posible, no efectuando curvas con radios no inferiores a 20 cm., ni cambios de dirección con ángulos inferiores a 90° .

Los materiales cumplirán las normas UNE u otra de rango similar. La toma de tierra tiene un valor muy importante en la instalación, su resistencia óhmica debe ser lo más baja posible. Para evitar incidencias, es muy importante controlar los valores de impedancia totales de la instalación y verificar que las tomas de tierra presentan un valor adecuado. La toma de tierra del pararrayos se unificará con la red perimetral del edificio de molienda, para buscar una equipotencialidad con toda la red de puesta a tierra.

La instalación de un contador de rayos es imprescindible para verificar los impactos de rayos recibidos y proceder rápidamente a la revisión de la instalación como indican las normativas UNE 21.186 y NF-17.102.

De acuerdo con esto se procede a instalar un pararrayos tipo, Dat-Controller plus DC+60, con una altura de mástil de 6 m, el cual proporciona un radio de protección de 97 m.

9. ESTUDIO ESTRUCTURAL DE BANDEJAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

9.1 Introducción histórica.

Aunque el nombre del MEF se ha establecido recientemente, el concepto se ha usado desde hace varios siglos. El empleo de métodos de discretizado espacial y temporal y la aproximación numérica para encontrar soluciones a problemas ingenieriles o físicos es conocido desde la antigüedad.

Para encontrar vestigios de este tipo de cálculos tenemos que remontarnos a la época de la construcción las pirámides egipcias, donde ya los antiguos egipcios empleaban métodos de discretizado para determinar el volumen de las pirámides.

Arquímedes (287-212 a.C.) empleaba el mismo método para calcular el volumen de todo tipo de sólidos o la superficie de áreas.

En oriente también aparecieron métodos de aproximación para realizar cálculos. Así el matemático chino Lui Hui (300 d.C.) empleaba un polígono regular de 3072 lados para calcular longitudes de circunferencias con lo que conseguía una aproximación al número Pi de 3.1416.

El desarrollo de los elementos finitos tal y como se conocen hoy en día ha estado ligado al cálculo estructural fundamentalmente en el campo aeroespacial. En los años 40 Courant propone la utilización de funciones polinómicas para la formulación de problemas elásticos en subregiones triangulares, como un método especial del método variacional de Rayleigh - Ritz para aproximar soluciones.

Fueron sin embargo por M. J. Turner, R. W. Clough, H. C. Martin, y L. J. Topp quienes presentaron el MEF en la forma aceptada hoy en día. En su trabajo introdujeron la aplicación de elementos finitos simples (barras y placas triangulares con cargas en su plano) al análisis de estructuras aeronáuticas, utilizando los conceptos de discretizado y funciones de forma.

El documento se centró en “la rigidez y deformación de estructuras complejas”. Con la llegada de los primeros ordenadores instaura el cálculo matricial de estructuras. Éste parte de la discretización de la estructura en elementos lineales tipo barra de los que se conoce su rigidez frente a los desplazamientos de sus nodos. Se plantea entonces un sistema de ecuaciones resultado de aplicar las ecuaciones de equilibrio a los nodos de la estructura. Este sistema de ecuaciones se esquematiza de la siguiente manera:

$$\mathbf{f} = \mathbf{K} * \mathbf{u}$$

Donde las incógnitas son los desplazamientos en los nodos (vector \mathbf{u}) que se hallan a partir de las "fuerzas" o "solicitaciones" en los nodos (vector \mathbf{f}) y de la rigidez de las barras (matriz de rigidez \mathbf{K}). Conocidos dichos desplazamientos es posible determinar los esfuerzos en las barras. La solución obtenida es exacta.

Hacia los años 50, con la llegada de las primeras computadoras la evolución se hace patente. Hasta ese momento el cálculo de estructuras se encontraba en un punto en el que los métodos de cálculo predominantes consistían en métodos iterativos (métodos de Cross y Kani) que se realizaban de manera manual y, por tanto, resultaban bastante tediosos. El cálculo de una estructura de edificación de varios pisos, por ejemplo, podía llevar varias semanas, lo cual suponía un coste sustancial de tiempo en detrimento de la posibilidad de invertir este en la optimización de la estructura.

La llegada de la computadora permitió el resurgimiento del método de los desplazamientos ya conocidos en siglos anteriores (Navier, Lagrange, Cauchy), pero que eran difíciles de aplicar dado que al final conducían a la resolución de enormes sistemas de ecuaciones inabordables desde el punto de vista manual.

En la década de los años 60 y 70, cuando las aplicaciones prácticas de elementos finitos crecieron en tamaño, los requerimientos de tiempo de cálculo y memoria de los ordenadores creció. En ese punto el desarrollo de algoritmos más eficientes se volvió importante. Para la resolución de los sistemas de ecuaciones se potencia el estudio de la adaptabilidad de los algoritmos ya conocidos (Gauss, Cholesky, Crout, Gradiente conjugado, etc). El ahorro de tiempo es impensable y con ello el uso del método matricial se extiende. Este desarrollo se hace especialmente notable en estructuras de edificación donde la discretización de los pórticos en barras, es prácticamente inmediata a partir de las vigas y los pilares.

Sin embargo, y a pesar de desarrollarse modelizaciones de elementos superficiales mediante barras (losas con emparrillados, elementos curvos mediante aproximaciones de elementos rectos, etc.), se plantean grandes dificultades ante estructuras continuas (superficies y volúmenes) y con geometrías complejas. De ahí que sea precisamente dentro del campo aeroespacial donde comiencen a desarrollarse las nuevas técnicas del MEF. Dada su generalidad el método se amplió a otros campos no estructurales como la conducción de calor, la mecánica de fluidos, etc. donde compitió con otros métodos numéricos como el de método de las diferencias finitas que aún siendo más intuitivos, tenían de nuevo dificultades de planteamiento para geometrías complejas.

En los años 70 se produce un gran crecimiento de la bibliografía así como la extensión del método a otros problemas como los no lineales. En esta década, el MEF estaba limitado a caros ordenadores centrales generalmente poseídos por las industrias aeronáuticas, de automoción, de defensa y nucleares. Se estudian nuevos tipos de elementos y se sientan las bases matemáticas rigurosas del método, que había aparecido antes más como técnica de la ingeniería que como método numérico de la matemática.

A partir de la década de los 80, con la generalización de los ordenadores personales, se extiende el uso de los programas comerciales que se especializan en los diversos campos, instaurándose el uso de pre y postprocesadores gráficos que realizan el mallado y la representación gráfica de los resultados. Se continúa en el estudio de la aplicación del método a nuevos modelos de comportamiento (plasticidad, fractura, daño continuo, etc.) y en el análisis de los errores.

En la actualidad, dentro del campo estructural, el MEF comparte protagonismo con el método matricial, siendo muchos los programas que mezclan el análisis por ambos métodos, debido sobre todo a la mayor necesidad de memoria que requiere el análisis por elementos finitos. Así se ha dejado la aplicación del MEF para el análisis de elementos continuos tipo losa o pantalla, mientras que los pórticos siguen todavía discretizándose en barras y utilizando el método matricial. Y desde el rápido declive en el coste de los ordenadores y el fenomenal incremento en la potencia de cálculo, el MEF ha desarrollado una increíble precisión. A día de hoy, los superordenadores son capaces de dar resultados exactos para todo tipo de parámetros.

Actualmente el método se encuentra en una fase de gran expansión; es ampliamente utilizado en la industria y continúan apareciendo cientos de trabajos de investigación en este campo. Los ordenadores han aportado el medio eficaz de resolver la multitud de ecuaciones que se plantean en el MEF, cuyo desarrollo práctico ha ido caminando parejo de las innovaciones obtenidas en el campo de la arquitectura de los ordenadores. Entre éstas, además de permitir la descentralización de los programas de EF, ha contribuido a favorecer su uso a través de sofisticados paquetes gráficos que facilitan el modelado y la síntesis de resultados. Hoy en día ya se concibe la conexión inteligente entre las técnicas de análisis estructural, las técnicas de diseño (CAD), y las técnicas de fabricación.

9.2 La técnica de análisis por elementos finitos.

La técnica de análisis por elementos finitos (AEF) consiste en el empleo de los métodos numéricos en la resolución de un problema físico determinado.

Este método numérico se basa en dividir la geometría en la que se quiere resolver un problema físico, en pequeños elementos en los cuales se resuelven las ecuaciones diferenciales correspondientes a un campo (la temperatura en transmisión del calor, el campo magnético en electromagnetismo, el campo de velocidades en mecánica de fluidos, etc), en forma discreta, teniendo en cuenta las propiedades físicas de los materiales empleados, los elementos del entorno de vecindad, las condiciones de contorno y las fuentes generadoras de campo. La resolución de estas ecuaciones de forma discreta se realiza de forma iterativa hasta que se alcanza convergencia en la solución.

Las herramientas *software* que permiten realizar este proceso de forma eficiente y cómoda se denominan herramientas de análisis por elementos finitos, o simplemente herramientas de elementos finitos (HEF).

Existen HEF de propósito general o multidisciplinar que permiten resolver varios problemas físicos como son: mecánica de fluidos, transmisión del calor, electromagnetismo, mecánica estructural, etc y HEF que se aplican a un problema físico específico.

Hay herramientas que permiten incluso acoplar dos problemas como es el caso del problema térmico y del problema electromagnético. Es decir la salida de un problema se emplea como entrada en el otro problema y viceversa, de forma iterativa.

El proceso de generación de la solución mediante AEF se realiza en estas herramientas mediante varios pasos: definición de la geometría objeto de estudio, especificación del régimen a estudiar, asignación de las propiedades físicas de los materiales, asignación de las condiciones de contorno, aplicación de las cargas, mallado de la geometría, resolución del problema y análisis de la solución.

9.2.1 Definición de la geometría objeto de estudio

Consiste en la obtención de un dibujo en 2D o 3D, en malla de alambre, de las formas de los diferentes objetos en los que se pretenden resolver las ecuaciones de campo. Para efectuar este cometido las HEF suelen tener una herramienta CAD por debajo.

9.2.2 Especificación del régimen a estudiar

Para el caso del modelado térmico, las HEF permiten realizar un análisis en régimen permanente o en régimen transitorio. Es en esta fase en la que se especifica el tipo de régimen a estudiar.

9.2.3 Asignación de las propiedades físicas de los materiales

Es aquí donde las propiedades físicas tales como el módulo de elasticidad, la densidad y el coeficiente de Poisson, se asignan a cada uno de los objetos que se han generado en la fase de definición de la geometría.

9.2.4 Asignación de las condiciones de contorno

Las condiciones de contorno más típicas se van a referir a empotramientos, carritos y limitación de movimientos de las distintas partes de la estructura si las hubiera.

9.2.5 Aplicación de las cargas

Son las cargas en base a las cuales se van a obtener los datos del estudio.

9.2.6 Mallado de la geometría

La geometría objeto de estudio se divide en diferentes elementos en los que resuelven las ecuaciones de campo. Las HEF suelen tener herramientas por debajo que mallan de forma automática y permiten que el usuario malle de forma más fina las zonas que más le convenga. Es por ello que el mallado de la geometría es una tarea clave en el proceso de AEF.

9.2.7 Resolución del problema

En esta fase del proceso, es donde se aplica el método de análisis por elementos finitos para obtener la solución del problema físico de forma iterativa, en este caso las deformaciones de la estructura y las fuerzas asociadas.

La solución se obtiene en cada uno de los elementos en que se descompone la geometría. Aunque siempre es posible sumar o integrar estos pequeños elementos en una región determinada, ya sea área o volumen.

9.2.8 Análisis de la solución

Una vez obtenida la solución, es posible representar gráficamente la distribución que se trate.

La última fase se conoce también con el nombre de solución, y la penúltima fase del proceso que se acaba de describir se conoce también con el nombre de *pos procesamiento*, y el resto de las fases se conocen con el nombre de *pre procesamiento*.

9.3 Introducción al problema planteado

En el caso que nos ocupa, la estructura a estudiar es una bandeja porta cables destinada a soportar la carga del cableado que alimentará los distintos dispositivos de la fábrica.

Esta deberá soportar como mínimo una carga distribuida de 75 kg/m.

La misma se haya fabricada en acero inoxidable con las siguientes características;

Módulo de elasticidad = 210 GPa

Densidad = 7800 Kg/m³

Coefficiente Poisson = 0.3

La bandeja está compuesta por bastidores en forma de "U" cuya misión es la de soporte estructural del juego de varillas longitudinales que conforman el resto de la estructura, tal y como se puede observar en la Ilustración 2.

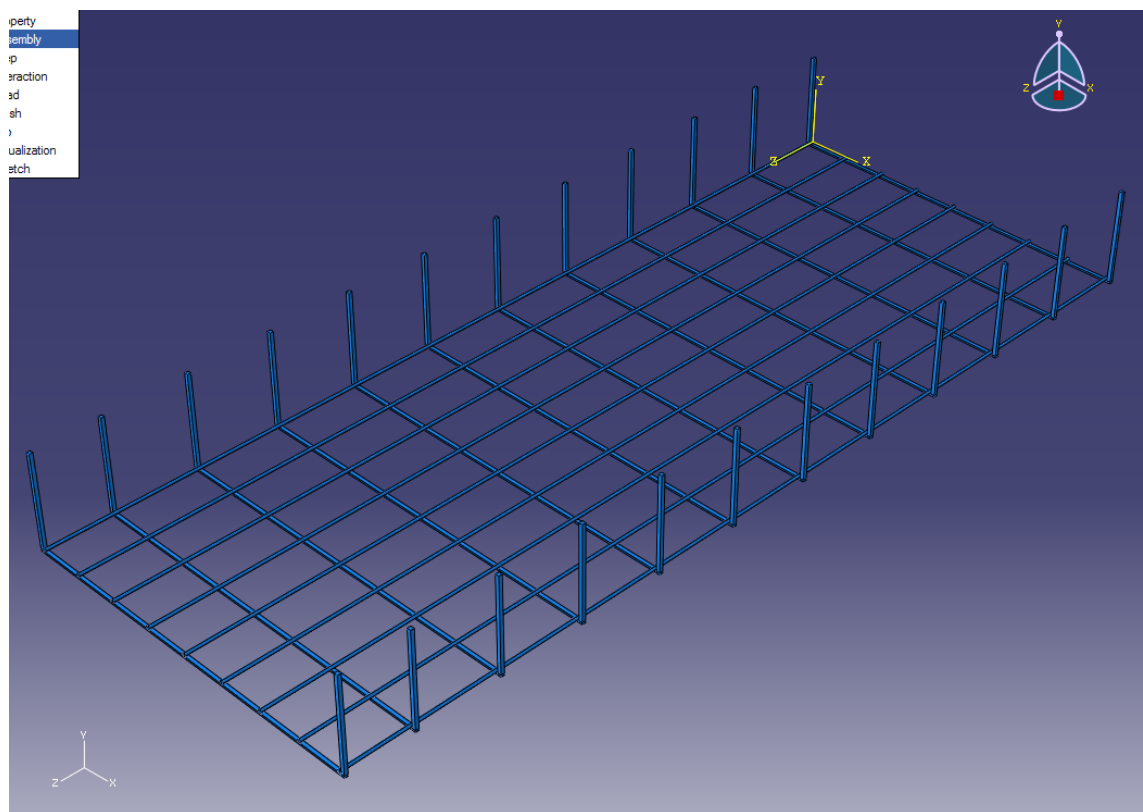


Ilustración 2. Estructura de la bandeja

Las medidas de la misma son 40 cm de ancho por 1 m de largo, teniendo las varillas y los bastidores transversales 4 mm de diámetro.

Ante las distintas posibilidades de instalación de las bandejas en el interior de la fábrica, se han planteado dos situaciones a estudiar:

9.3.1 Casi 1: Estantería mediante empotramientos en techo

La bandeja hace el recorrido por el techo empotrada en el techo por la parte superior de los bastidores, a distancias regulares de 50 cm.

9.3.2 Caso 2: Estantería empotrada en voladizo

La bandeja hace el recorrido empotrada por la parte lateral de los bastidores de soporte, a distancias regulares de 50 cm igualmente.

9.4 Resolución

Sin embargo, con la finalidad de simplificar el problema, así como aligerar la carga de cálculos necesaria para su cálculo, la resolución en Abaqus se ha planteado con un modelo o modelos simplificados tal como se puede observar en la Ilustración 3.

Esta simplificación permite un estudio completo, puesto que en la situación del caso 1 la situación centrada de la barra significa el caso más desfavorable posible. En el caso 2, la situación de la barra es en el extremo más alejado del empotramiento lateral, siendo en cualquier caso también la situación más desfavorable.

Dicho esto, se procede a continuación en los siguientes apartados a detallar los pasos seguidos con el software de simulación utilizado, el programa Abaqus en su versión 6.9.1.

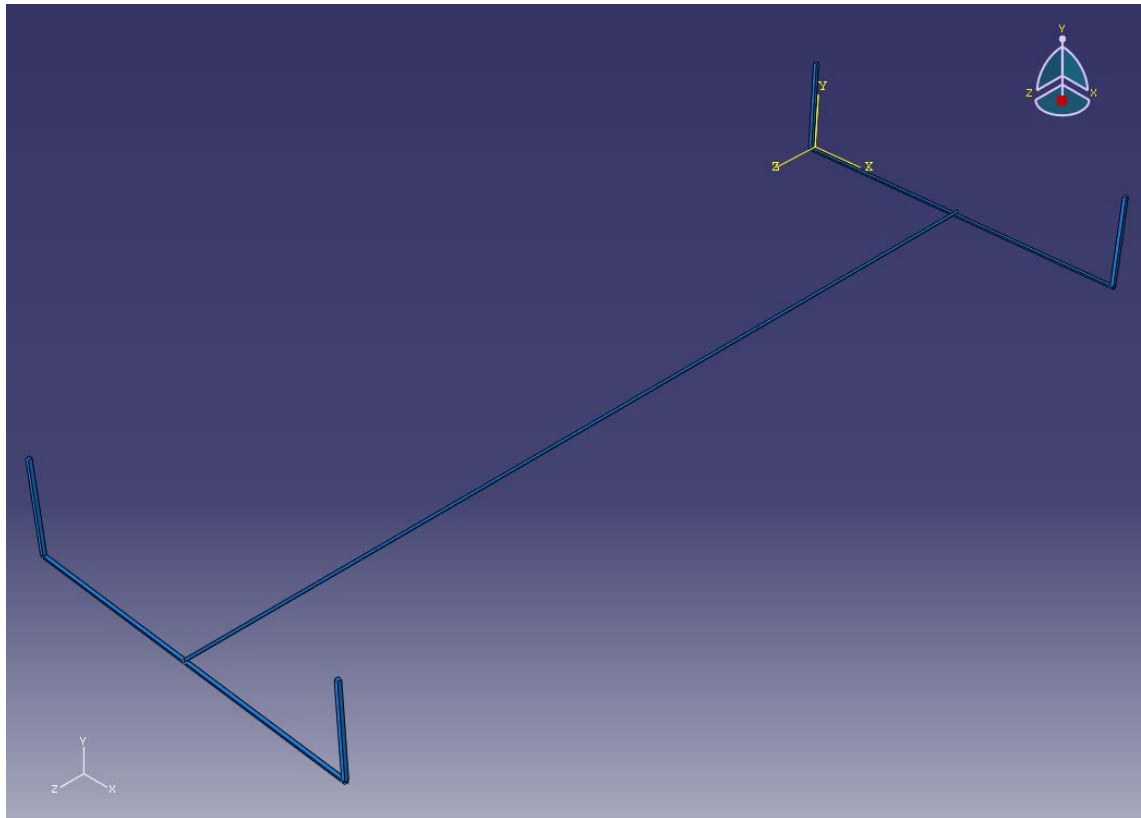


Ilustración 3. Caso 1; Empotramiento en techo.

9.4.1 Modelación de elementos. Parts.

La bandeja, como ya se ha especificado está compuesta por una serie de bastidores transversales que sirven de soporte estructural al juego de varillas longitudinales. Se han creado por tanto, dos elementos o *parts*, uno para el bastidor y otro para la varilla, como se puede observar en la Ilustración 4 y en la Ilustración 5.

La razón por la cual solo se ha creado un bastidor y una varilla, es de índole práctica, puesto que más tarde a efectos de ensamblaje, pueden ser fácilmente duplicadas y a efectos de mallado bastará únicamente con mallar el elemento original.

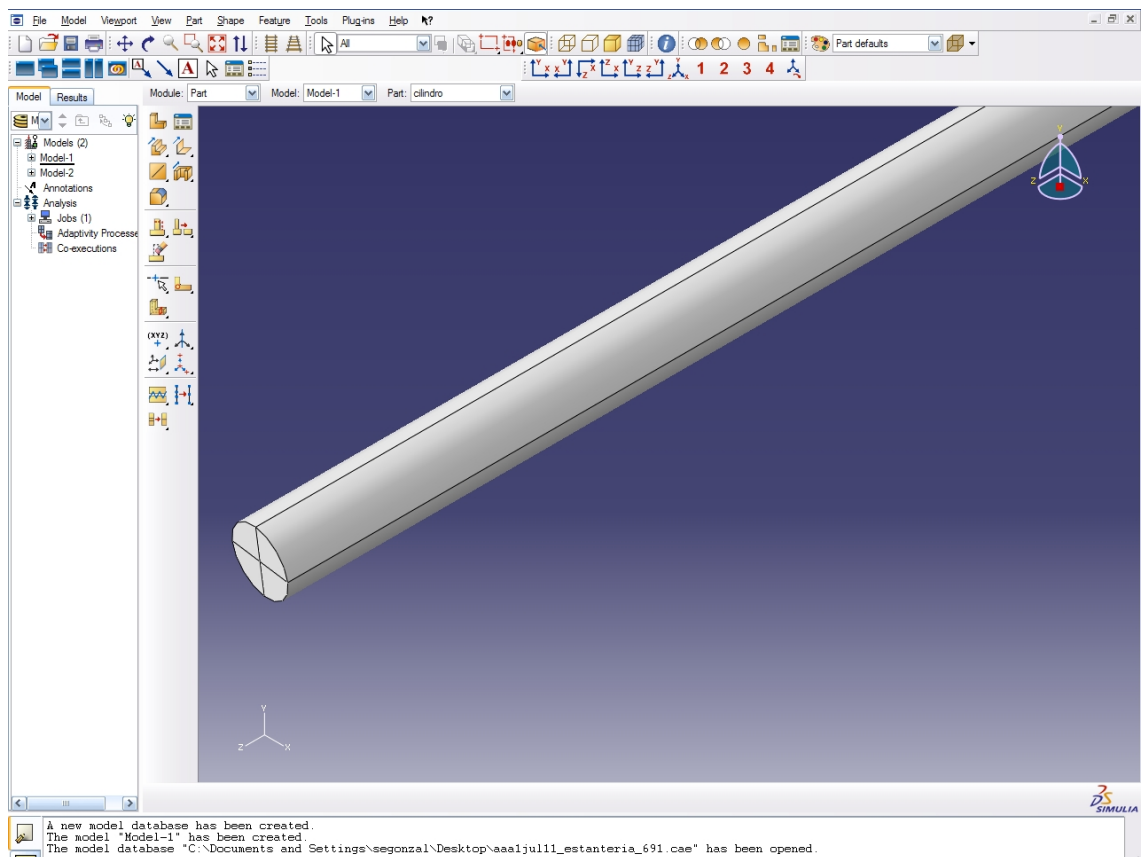


Ilustración 4. Varilla longitudinal.

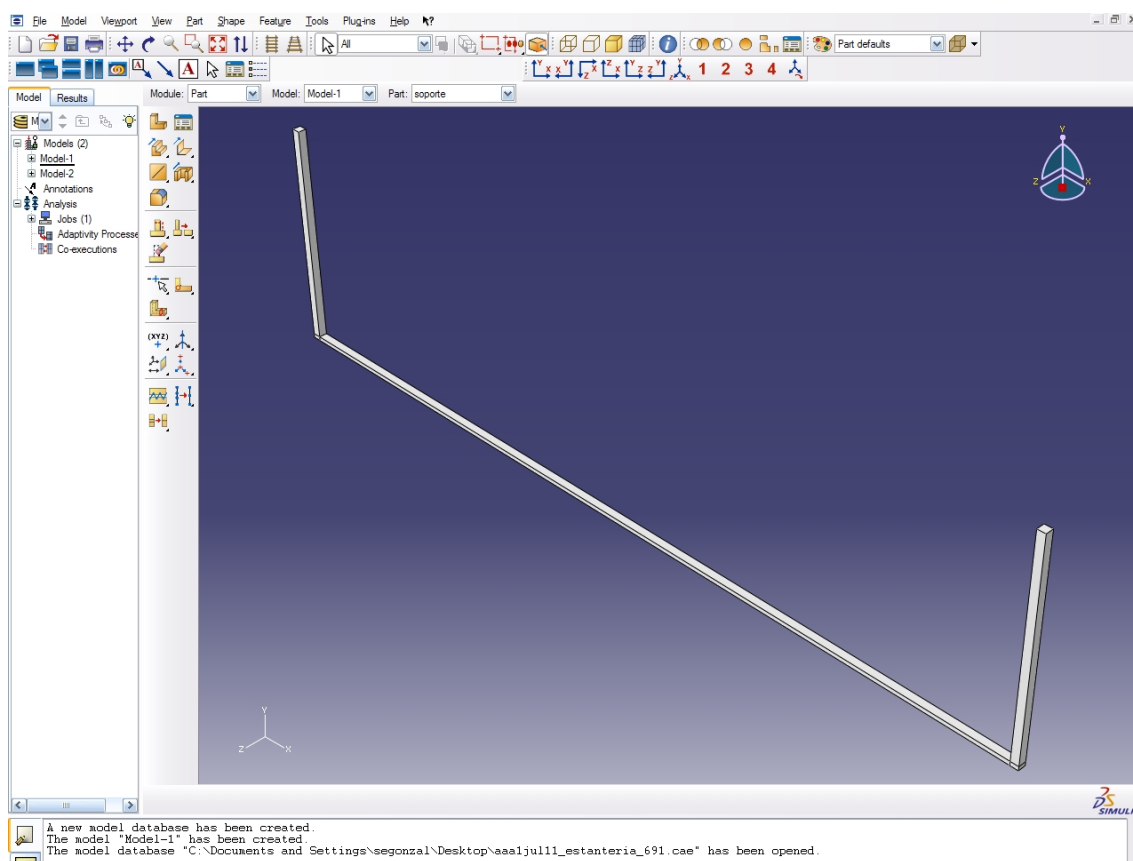


Ilustración 5. Bastidor transversal.

La creación de las *part* ha sido realizada por el método de crear puntos, para posteriormente unirlos mediante líneas y finalmente realizar una extrusión de la forma obtenida con el espesor deseado. O en el caso de la varilla creando una forma circular para posteriormente extruirla en la longitud requerida.

9.4.2 Establecimiento de materiales. *Properties.*

Para que los modelos creados en el apartado anterior puedan ser utilizados en simulaciones estructurales se deberá asignar tipo de material y características para cada modelo.

En el caso que nos ocupa, ambas partes se compondrán de acero estándar con las características dadas en el apartado 9.3.

Estas características se establecen en la pestaña correspondiente en el menú izquierdo del programa, desplegando *model* y la *part* correspondiente como se puede observar en la Ilustración 6. Una vez ahí, se tiene una ficha denominada *materials*, donde se introducirán los datos del material. O bien de manera más intuitiva y rápida seleccionado la pestaña correspondiente en el desplegable *module*.

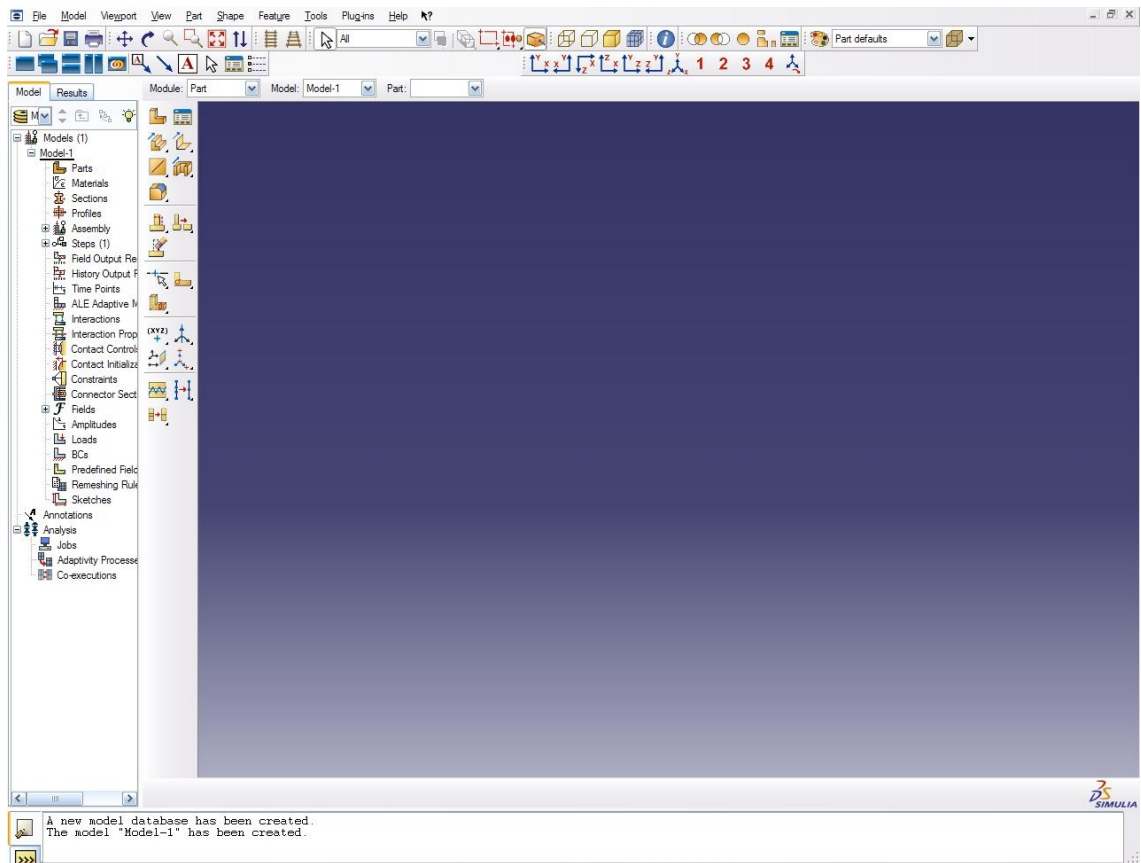


Ilustración 6. Inserción de materiales.

9.4.3 Ensamblaje. Assembly.

Creados los modelos y establecido el material, se procede al ensamblaje de las partes. En la pestaña *Assembly* se procede al mismo, copiando hasta 11 veces el bastidor transversal a intervalos regulares y 8 veces las varillas longitudinales se obtiene la estructura completa de la bandeja tal y como puede observarse en la Ilustración 7.

Sin embargo, y como ya se avanzó al principio del apartado, se ha trabajado con una versión simplificada del problema (véase Ilustración 3), dejando únicamente una varilla transversal que estará situada en el centro o bien en un extremo dependiendo del caso en el que se esté trabajando.

Esto, aparte de simplificar el problema, aligera la carga de cálculos al pasar de ser necesarios 96 contactos entre las varillas y los bastidores, a únicamente 2.

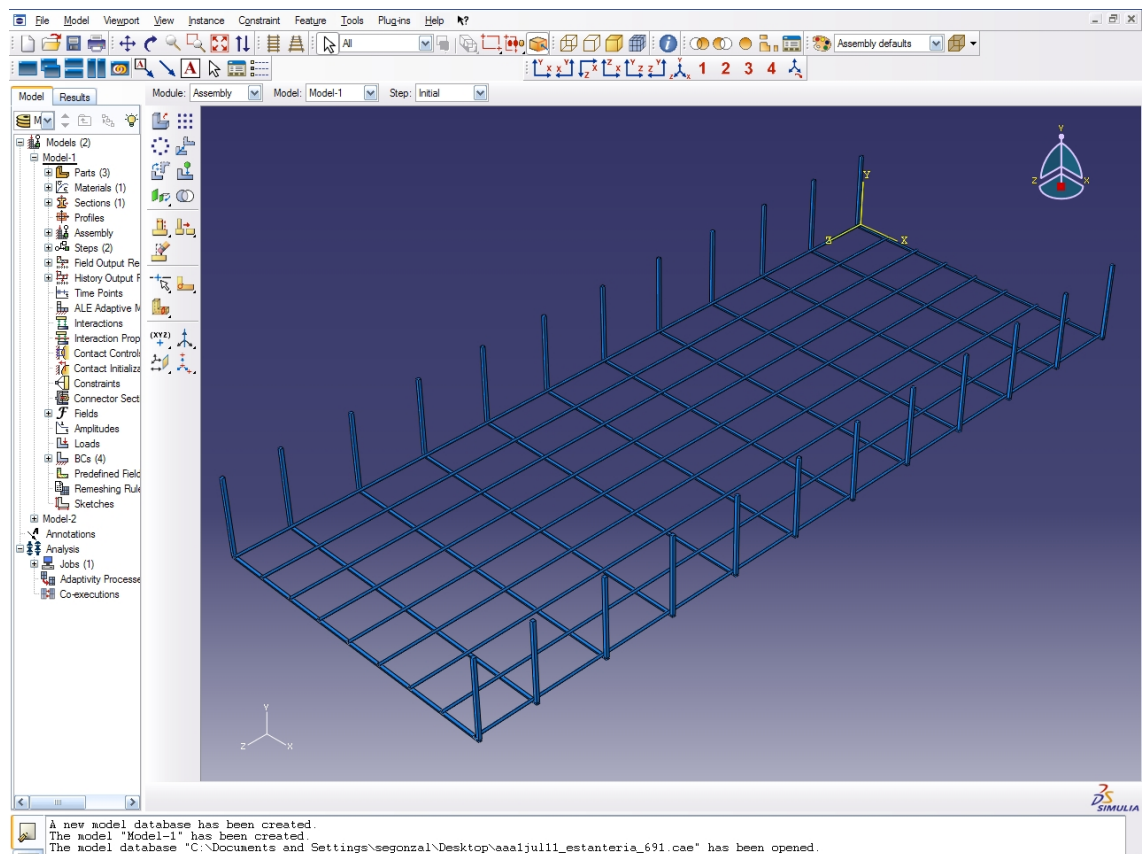


Ilustración 7. Assembly.

9.4.4 Tipo de análisis. Step.

El tipo de análisis que se va a utilizar va a ser estático, por lo que una vez situados en la pestaña *Step*, no es necesario modificar nada, puesto que es la opción por defecto.

9.4.5 Interacciones. Interactions.

Una vez ensamblada las partes que componen la bandeja se hace necesario definir el comportamiento entre las mismas. Para ello, pulsando sobre la pestaña *Interaction*, se procede a establecer cómo son las interacciones entre las distintas piezas.

Gracias a la simplificación realizada solo deberemos establecer los contactos entre la varilla y los dos bastidores, tanto en la configuración para el caso 1, como para el caso 2.

Se creará una interacción del tipo superficie - superficie (*surface to surface*) para lo cual previamente se habrá dividido la varilla en cuatro secciones (que no afectan a su integridad estructural) a fin de poder seleccionar con mayor precisión las superficies de contacto, tal como puede observarse en la Ilustración 8.

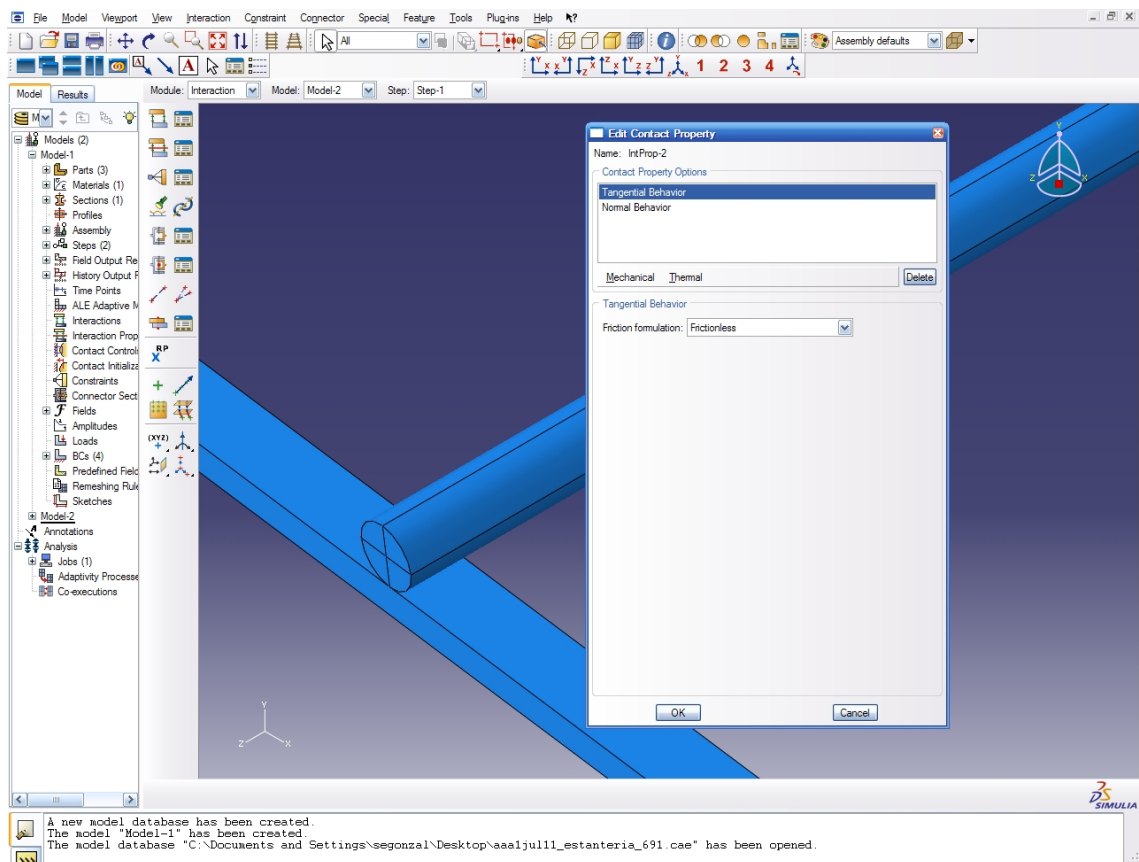


Ilustración 8. Superficies de contacto.

A continuación se establecen las propiedades del contacto, que serán de tipo mecánico, con componentes normal y tangencial. Para ello se seleccionará las opciones *Tangential behavior* y *Normal behavior*, dejando por defecto las opciones de sus respectivos submenús.

Una vez se realice esto, se procede a establecer la superficie primaria y la superficie secundaria. Para ello se seleccionan las superficies que van a estar en contacto asignando el estado *Master* (primario) o *Slave* (secundario) en función de si es la pieza que va a sufrir el esfuerzo o va realizarlo. Se asigna el estado *Master* a la pieza que recibe la carga y el estado *Slave* a la pieza que la realiza, como puede verse en la Ilustración 9.

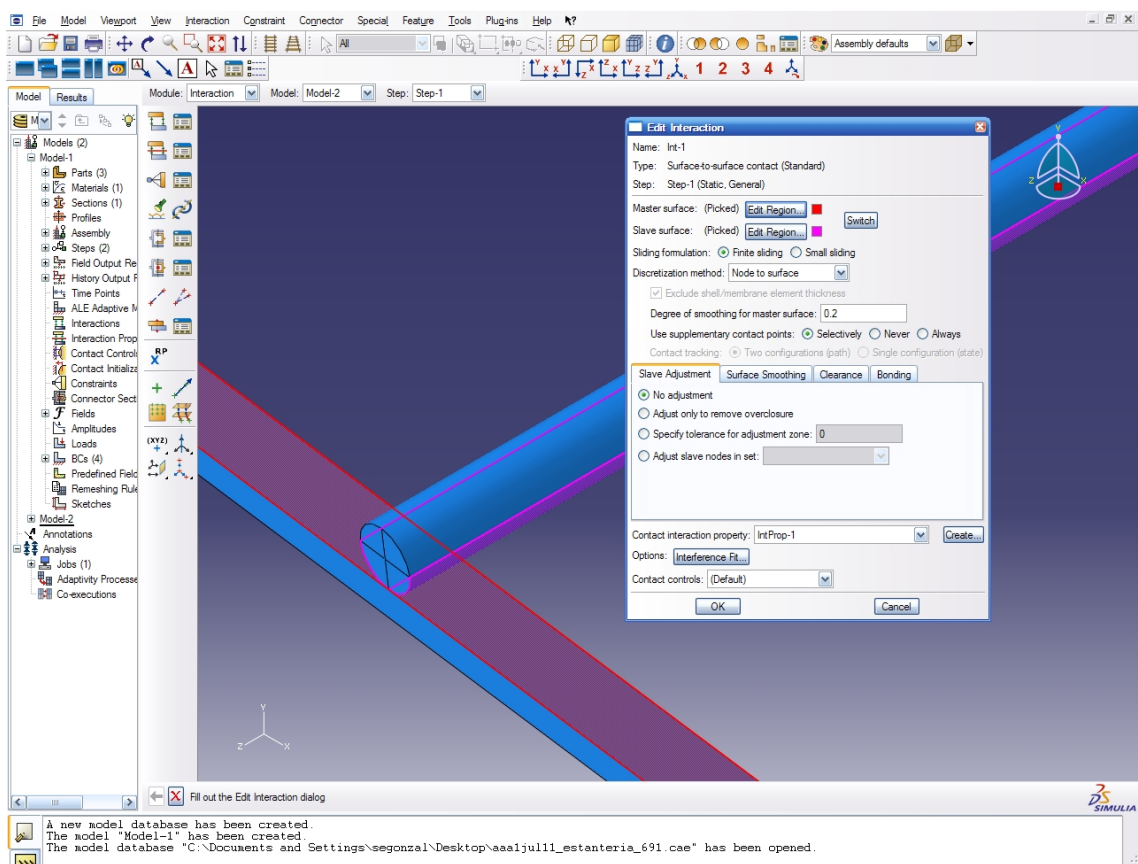


Ilustración 9. Superficies primaria y secundaria.

9.4.6 Cargas. Loads.

Una vez establecidas las interacciones es el momento de introducir las cargas, usando la pestaña correspondiente, en este caso *Loads*.

En este apartado, además de las cargas (ya sean mecánicas o térmicas de haberlas), se establecen los límites al movimiento y los desplazamientos.

En el caso que nos ocupa, si bien lo más lógico sería una carga distribuida a lo largo de la varilla, se ha optado por establecer un desplazamiento vertical de la misma para simular la carga. Las razones son dos.

De un lado la estabilidad del programa al efectuar la simulación es mayor estableciendo desplazamientos que cargas de presión, ya que con estas últimas se observaban serios problemas de convergencia en el problema simplificado y un tiempo excesivamente largo de cálculo o la no convergencia en el problema completo.

De otro lado, la imposición del desplazamiento vertical de la varilla es más restrictivo que la simple imposición de la carga establecida por el cableado y permite un estudio más a fondo de la resistencia de la estructura, por lo que en relación a la simulación es más interesante.

Establecida la carga en función del desplazamiento de la varilla se han impuesto las siguientes limitaciones al movimiento de la estructura en función del caso en el que se esté simulando. De esta forma:

Caso 1:

Empotramientos en los bastidores, en la parte superior de los mismos.

Caso 2:

Empotramiento en el lateral del bastidor de manera que la bandeja esté en voladizo.

Adicionalmente, para evitar problemas de errores numéricos que desestabilicen la solución, se ha limitado el movimiento de la varilla únicamente a la dirección vertical.

9.4.7 *Mallado. Mesh.*

Esta es una parte fundamental del proceso. Lo ideal a priori es un mallado que concentre su mayor densidad en las zonas donde son de prever la mayor concentración de esfuerzos y por tanto sea necesario mayor precisión de cálculos. Para ello se efectúan los pasos necesarios a través del desplegable seleccionando *Mesh*, o bien en los menús superiores.

El mallado se realizará sobre los modelos o *parts* iniciales, puesto que habiendo mallado uno, automáticamente quedan mallados sus copias en el *assembly*.

Habiendo numerosos tipos de mallados se ha optado por una malla tipo cuadrícula para los bastidores y una tipo radial para las varillas (véase Ilustración 10).

Las razones de esta elección se fundamentan en que después de realizar distintas pruebas de mallado la misma resultó lo suficientemente buena para alcanzar la solución.

9.4.8 *Ejecución. Job Resolver.*

Una vez realizados los puntos anteriores solo queda correr la solución y obtener datos para las dos opciones contempladas en el estudio. En este caso, lo que es necesario saber es si para los distintos desplazamientos a los que es obligada la varilla la estructura de acero aguanta, o lo que es lo mismo si el punto de mayor tensión estructural es inferior a la tensión de rotura del acero.

Para cada uno de los casos se ha obtenido los siguientes resultados

Caso 1: Empotramiento en techo.

Para una bajada máxima impuesta de 20 mm se han obtenido los siguientes resultados.

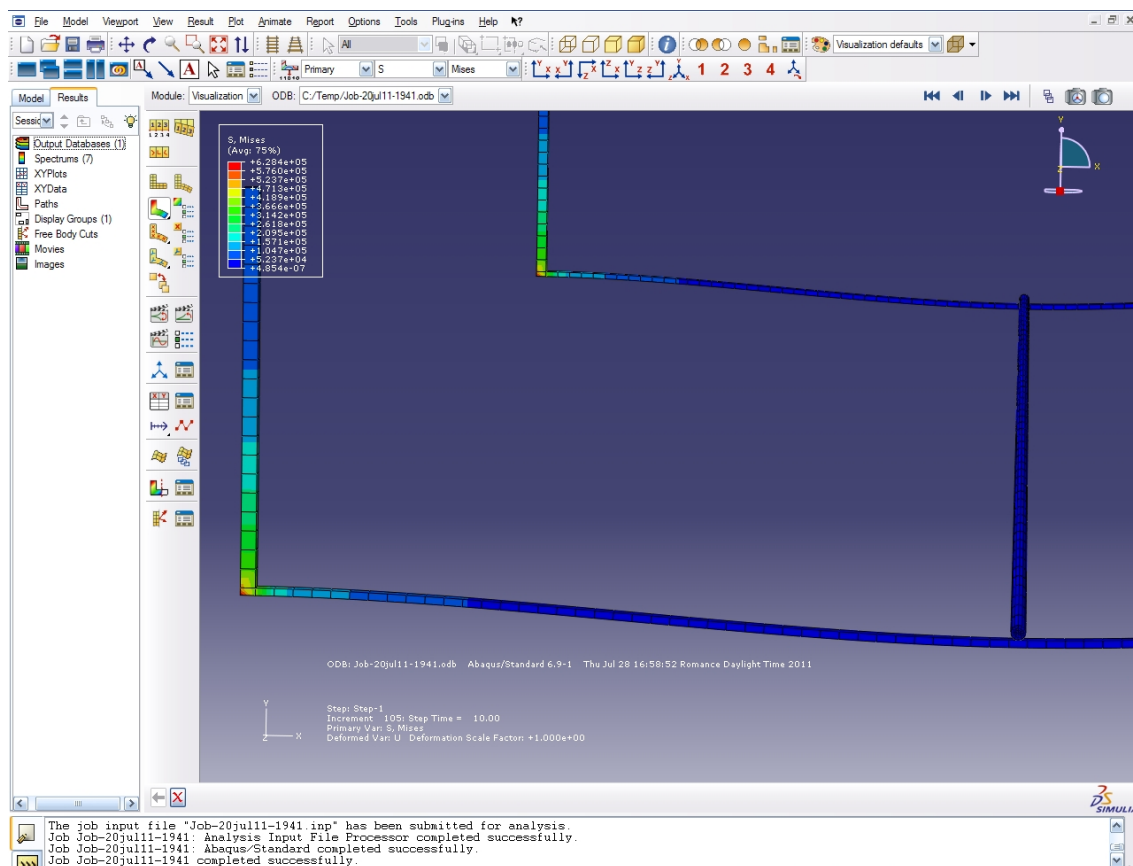


Ilustración 10. Empotramiento en techo. Resultados para 20 mm de desplazamiento.

Caso 2: Empotramiento en voladizo.

Para la misma bajada máxima, teniendo en cuenta que la varilla se encuentra para este caso en la posición más desfavorable, se han visualizado los siguientes resultados.

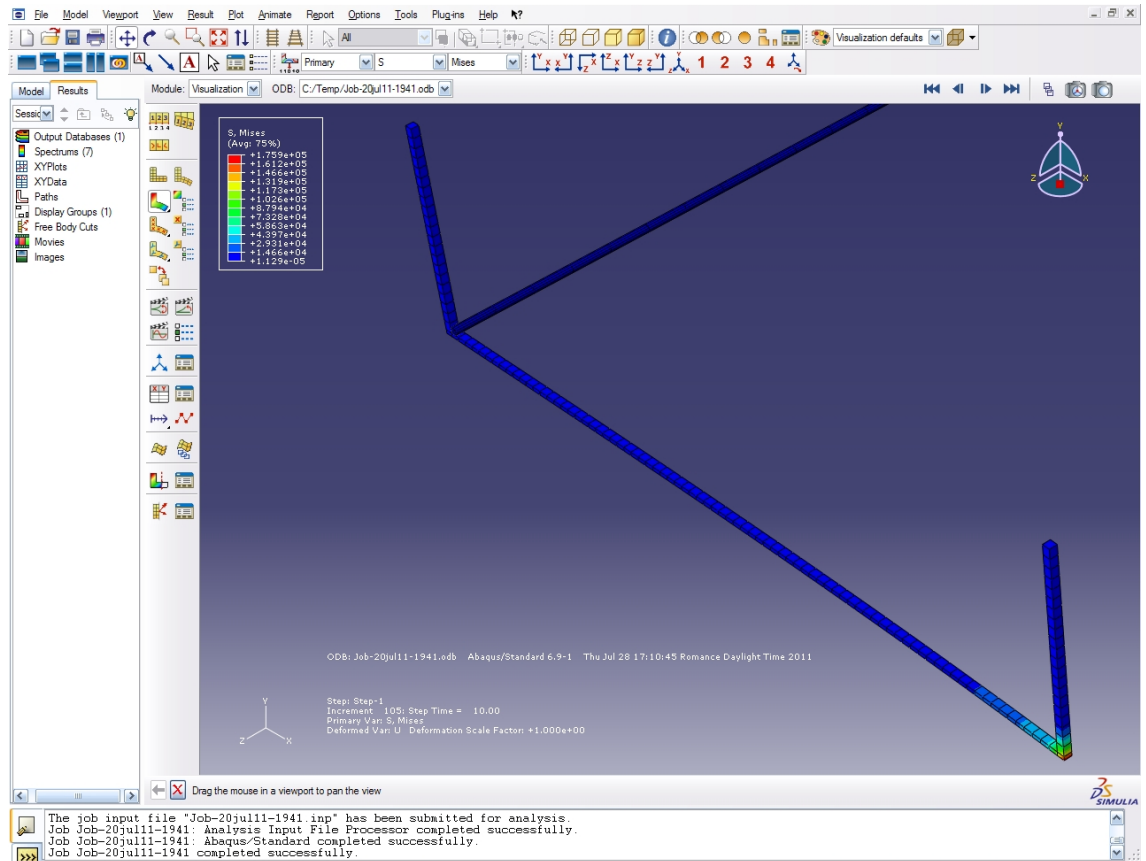


Ilustración 11. Empotramiento en voladizo. Resultados para 20 mm de desplazamiento

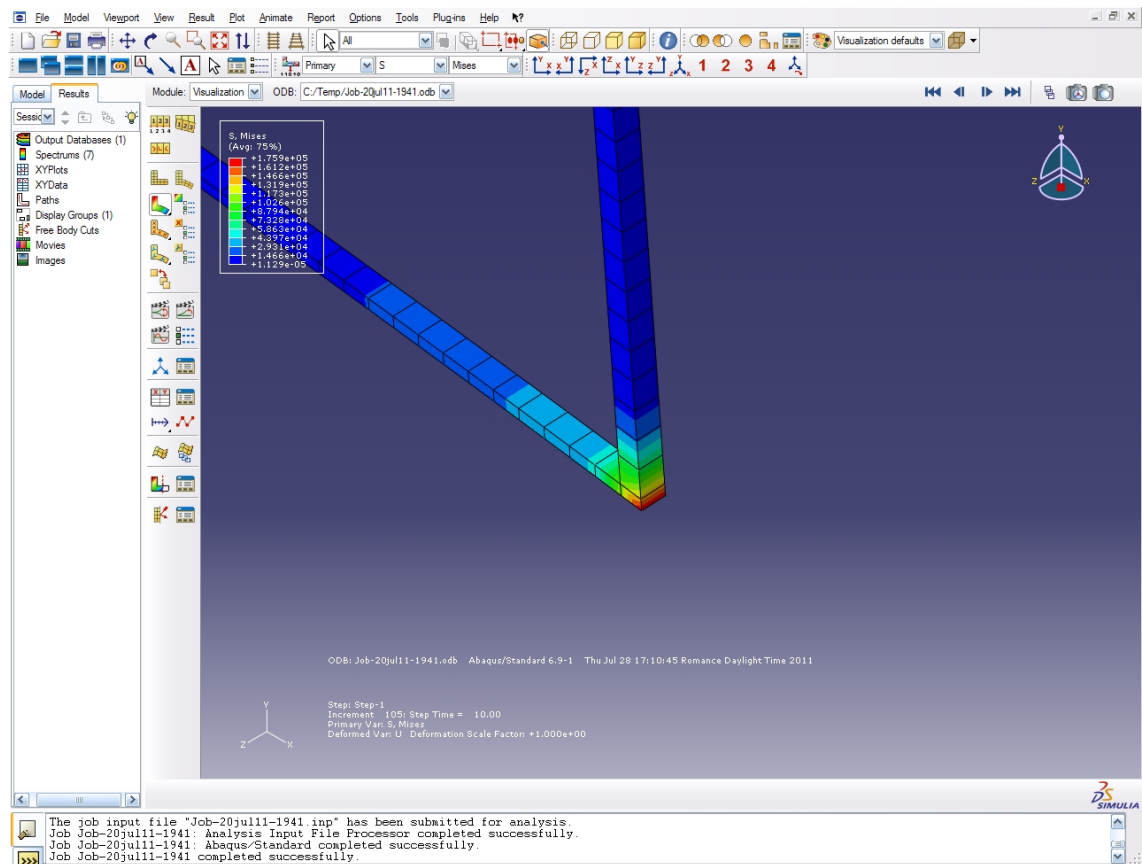


Ilustración 12. Empotramiento en voladizo. Resultado para 20 mm de desplazamiento. Detalle

9.5 Conclusiones.

Como conclusión se puede establecer, por lo que se ve en la Ilustración 10 y la Ilustración 12, que la estructura en el material establecido, acero estándar, está sobredimensionada, puesto que la tensión de rotura del acero, por término medio, es del orden 400 MPa.

Esto quiere decir que se podría utilizar materiales más ligeros, y más baratos, para la realización de este tipo de bandejas, como bien puede ser el aluminio, cuya tensión de rotura esta en torno a los 70 Mpa.

Sin embargo, que las tensiones que se producen sean bajas (4 órdenes de magnitud), no quiere decir que los desplazamientos puedan ser indefinidos, puesto que los criterios de plastificación son limitantes al respecto.

No se han tenido en cuenta tales criterios, por la sencilla razón que nunca se va a llegar a plastificar con las cargas impuestas, puesto que el proyecto establece las mismas en una carga distribuida de 75 kg/m.

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

1. DEMANDA DE POTENCIA / TRANSFORMADORES

El objeto de este apartado es realizar los cálculos necesarios para determinar los transformadores a emplear, de acuerdo con las necesidades de consumo de la instalación.

LISTA DE CONSUMIDORES ELÉCTRICOS

1.1 Consumos de BT

| Código | Descripción | Potencia (kW) | Tensión (V) | cosφ |
|-------------|---|---------------|-------------|------|
| BA01-4G | Accto. Banda dosificadores clínker | 1,5 | 500 | 0,86 |
| BA02-4G | Accto. Banda dosificadores yeso | 0,37 | 500 | 0,86 |
| BA03-4G | Accto. Banda dosificadora caliza | 0,37 | 500 | 0,86 |
| CT01-4G | Accto. Banda transportadora molienda | 15 | 500 | 0,8 |
| BB01-4G | Accto. Bomba B.P cojinete libre | 4 | 500 | 0,86 |
| BB02-4G | Accto. Bomba A.P cojinete libre | 5,5 | 500 | 0,86 |
| BB03-4G | Accto. Bomba B.P cojinete fijo | 15 | 500 | 0,86 |
| BB04-4G | Accto. Bomba A.P cojinete fijo | 5,5 | 500 | 0,86 |
| BB05-4G | Accto. Recirculación filtro | 0,75 | 500 | 0,86 |
| RE1-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| RE2-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| RE3-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| RE4-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| RE5-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 1,46 | 500 | 0,86 |
| E01-MAUX-4G | Accto. Electro-hidráulico freno zapatas aux. Molino | 0,3 | 500 | 0,86 |
| MAUX-4G | Accto. Motor auxiliar accto. Molino | 45 | 500 | 0,83 |
| RE6-ML01-4G | Calefacción compartimento estatórico accto. Molino | 0,65 | 500 | 0,86 |
| RE7-ML01-4G | Calefacción compartimento rotórico accto. Molino | 0,2 | 500 | 0,86 |
| CMM07-4G | Panel eléctrico reostato accto. Molino | 5,5 | 380 | ... |
| VE07-4G | Accto. Ventilador 1 inyección de agua | 1,5 | 500 | 0,86 |
| VE08-4G | Accto. Ventilador 2 inyección de agua | 1,5 | 500 | 0,86 |
| BB06-4G | Accto. Bomba agua inyección de agua | 4 | 500 | 0,86 |
| VM01-4G | Actuador regulador 1 inyección agua | 0,08 | 220 | 0,86 |
| VM02-4G | Actuador regulador 2 inyección agua | 0,08 | 220 | 0,86 |
| AR01-4G | Accto. Ventilador fluidor | 5,5 | 500 | 0,86 |
| EL01-4G | Accto motor principal elevador cangilones | 75 | 500 | 0,86 |
| AUX-EL01-4G | Accto motor principal auxiliar cangilones | 5,5 | 500 | 0,86 |
| AR02-4G | Accto. Ventilador fluidor | 7,5 | 500 | 0,86 |
| BB07-4G | Accto. Bomba lubricación Sepol | 1,5 | 500 | 0,86 |
| SP01-4G | Accto. Bomba motor Sepol | 315 | 500 | 0,86 |
| AR03-4G | Accto. Ventilador fluidor | 5,5 | 500 | 0,86 |
| RC01-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Molino | 3 | 500 | 0,86 |

| | | | | |
|---------------|---|------|-----|------|
| VE01-4G | Accto. Ventilador filtro mangas molino | 160 | 500 | 0,86 |
| AR04-4G | Accto. Fluidor filtro mangas Sepol | 2,2 | 500 | 0,86 |
| RC02-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Sepol | 4 | 500 | 0,86 |
| VE02-4G | Accto. Ventilador filtro mangas Sepol | 315 | 500 | 0,84 |
| POLP1-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: motor elevación | 10 | 500 | 0,86 |
| POLP2-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: m. translación | 0,6 | 500 | 0,86 |
| POLP1-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Elev. | 4 | 500 | 0,86 |
| POLP2-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Trans. | 0,6 | 500 | 0,86 |
| POLP3-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Elevación | 20,6 | 500 | 0,86 |
| POLP4-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Translación | 1,9 | 500 | 0,86 |
| POLP1-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Elevación | 6,6 | 500 | 0,86 |
| POLP2-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Translación | 0,6 | 500 | 0,86 |
| BA04-4G | Accto rueda de medidad caud. Coriolis | 1,5 | 500 | 0,86 |
| AR06-4G | Accto. Ventilador fluidor | 4 | 500 | 0,86 |
| VE03-4G | Accto. Ventilador filtro mangas fluidor transp. Cenizas | 5,5 | 500 | 0,86 |
| AR07-4G | Accto. Ventilador fluidor del filtro de molino | 5,5 | 500 | 0,86 |

1.2 Consumos de MT

| Código | Descripción | Potencia (kW) | Tensión (V) | cosφ |
|---------|--------------------------------------|---------------|-------------|------|
| ML01-4G | Accto. Motor principal Accto. Molino | 4200 | 6000 | 0,87 |

Tabla 1. Consumos BT y MT.

Atendiendo a la previsión de demanda de potencia de la instalación, se ha previsto una demanda total en baja tensión de 1093 kW trifásicos ($\cos\phi = 0.86$) y en media tensión de 4200 kW trifásicos ($\cos\phi = 0.87$).

Alimentación del Motor del Molino

La potencia aparente correspondiente al motor del molino viene dado por la siguiente expresión:

$$S = \frac{P}{\cos\phi}$$

Donde:

S: potencia aparente del motor

$\cos \varphi$: factor de potencia del motor ($\cos \varphi = 0.87$)

P: potencia del motor (4200 kW)

Atendiendo a esta expresión se obtiene una potencia:

$$S = 4828 \text{ KVA}$$

De acuerdo con este valor se procede a instalar un transformador de 5.5 MVA, situado en el C.T Molino, sobredimensionando de este modo el transformador debido al elevado par de arranque que presenta el motor, evitando de este modo una posible caída de carga en el transformador durante el proceso de arranque.

Alimentación del motor SEPOL, ventilador SEPOL y ventilador Molino

- La potencia aparente correspondiente al motor SEPOL viene dado por la siguiente expresión:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}$$

Donde:

S: potencia aparente del motor

$\cos \varphi$: factor de potencia del motor ($\cos \varphi = 0.86$)

P: potencia del motor (315 kW)

Atendiendo a esta expresión se obtiene una potencia:

$$S = 367 \text{ KVA}$$

- La potencia aparente correspondiente al ventilador filtro mangas SEPOL viene dado por la siguiente expresión:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}$$

Donde:

S: potencia aparente del motor

$\cos \varphi$: factor de potencia del motor ($\cos \varphi = 0.84$)

P: potencia del motor (315 kW)

Atendiendo a esta expresión se obtiene una potencia:

$$S = 375 \text{ KVA}$$

- La potencia aparente correspondiente al ventilador filtro mangas Molino viene dado por la siguiente expresión:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}$$

Donde:

S: potencia aparente del motor

$\cos \varphi$: factor de potencia del motor ($\cos \varphi = 0.86$)

P: potencia del motor (160 kW)

Atendiendo a esta expresión se obtiene una potencia:

$$S = 186 \text{ KVA}$$

De acuerdo con los valores obtenidos se establece un consumo total de 928 KVA.

Se procede a instalar un transformador de 1250 KVA, situado en el C.T Proceso, sobredimensionándolo un 20%, de modo que en el proceso de arranque de los motores el transformador no sufra una caída de carga significativa, con el consiguiente problema en el arranque de un motor, cuando los otros dos ya están en funcionamiento.

Alimentación del CCM

La potencia aparente correspondiente a todos los motores que parten del CCM viene dado por la siguiente expresión:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}$$

Donde:

S: potencia aparente

$\cos \varphi$: factor de potencia de los motores ($\cos \varphi = 0.86$)

P: potencia total de los motores (280 kW)

Atendiendo a esta expresión se obtiene una potencia:

$$S = 326 \text{ KVA}$$

2. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

2.1 C.T MOLINO

2.1.1 Intensidad en A.T

La corriente máxima que va a circular por el primario del transformador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

S: potencia del transformador en KVA.

U: tensión compuesta primaria de la red en kV (15 kV).

$$I = 212 \text{ A}$$

Los elementos empleados en la protección y seccionamiento de la línea, así como los elementos de conexión soportan la intensidad permanente a circular por la línea.

2.1.2 Intensidad en B.T

La corriente máxima que va a circular por el secundario del transformador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

S: potencia del transformador en KVA.

U: tensión compuesta secundaria de la red en kV (6.6 kV).

$$I = 504 \text{ A}$$

Los elementos empleados en la protección y seccionamiento de la línea, así como los elementos de conexión soportan la intensidad permanente a circular por la línea.

2.1.3 Corrientes de cortocircuito

Para realizar los cálculos de las intensidades originadas tras un cortocircuito partimos de la potencia de cortocircuito trifásica de 500 MVA, dato aportado por la compañía suministradora.

Intensidad de cortocircuito en el lado de A.T

Para calcular la intensidad de cortocircuito en el lado de alta tensión empleamos la expresión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_p}$$

Donde:

S_{cc} : potencia de cortocircuito trifásica de la red (500 MVA)

U_p : tensión primaria de la red en kV (15 kV)

I_{ccp} : corriente de cortocircuito en kA

Obtenemos:

$$I_{ccp} = 19.2 \text{ kA}$$

Intensidad de cortocircuito en el lado de B.T

Para calcular la intensidad de cortocircuito en bornes del secundario del transformador tenemos en cuenta la tensión de cortocircuito del mismo, cuyo valor es del 8%. En todos los dimensionamientos de los interruptores por intensidad de cortocircuito se han despreciado las impedancias del cableado interior de los centros de transformación, debido a la corta distancia de estos.

La corriente de cortocircuito secundaria de un transformador trifásico, viene dado por la expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s}$$

Donde:

P : potencia del transformador en KVA

E_{cc} : tensión de cortocircuito del transformador en %

U_s : tensión secundaria en V (6600 V)

I_{ccs} : corriente de cortocircuito en kA

Obtenemos:

$$I_{ccs} = 6.3 \text{ kA}$$

2.1.4 Batería de Condensadores.

En este apartado se procede a calcular la batería de condensadores necesaria a instalar en el C.T Molino, para compensar el motor del molino a $\cos\varphi=0.98$.

De acuerdo con las características de consumo del motor del molino, descritas en el apartado 1 de este mismo documento, la expresión a emplear para determinar la batería de condensadores a instalar, es la siguiente:

$$Q_c = 0.9 \cdot Q_0 \approx 0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot U_N \cdot 2 \cdot I_N \cdot (1 - \cos\varphi_N)$$

$$Q_0 = 0.9 \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot I_0$$

$$I_0 \approx 2 \cdot I_N \cdot (1 - \cos\varphi_N)$$

Donde:

Q_c : batería de condensadores a instalar en Var

U_N : tensión nominal del motor en V (6000 V)

I_N : intensidad nominal del motor en A (480 A)

$\cos\varphi_N$: factor de potencia del motor ($\cos\varphi_N = 0.87$)

Obteniéndose un valor de:

$$Q_c = 1200 \text{ kVar}$$

La aplicación de esta fórmula tiene por objeto dimensionar la batería de condensadores de un modo más preciso, que con el método convencional, de modo que en caso de descarga de la batería a través del motor del molino, este no se ponga en funcionamiento.

2.2 C.T PROCESO

2.2.1 Intensidad en A.T

Transformador 1250 KVA

La corriente máxima que va a circular por el primario del transformador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

S: potencia del transformador en KVA.

U: tensión compuesta primaria de la red en kV (15 kV).

$$I = 49 \text{ A}$$

Los elementos empleados en la protección y seccionamiento de la línea, así como los elementos de conexión soportan la intensidad permanente a circular por la línea.

Transformador 800 KVA

La corriente máxima que va a circular por el primario del transformador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

S: potencia del transformador en KVA.

U: tensión compuesta primaria de la red en kV (15 kV).

$$I = 31 \text{ A}$$

Los elementos empleados en la protección y seccionamiento de la línea, así como los elementos de conexión soportan la intensidad permanente a circular por la línea.

Transformador 50 KVA

La corriente máxima que va a circular por el primario del transformador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

S: potencia del transformador en KVA.

U: tensión compuesta primaria de la red en kV (0.525 kV).

$$I = 55 \text{ A}$$

Los elementos empleados en la protección y seccionamiento de la línea, así como los elementos de conexión soportan la intensidad permanente a circular por la línea.

2.2.2 Intensidad en B.T**Transformador 1250 KVA**

La corriente máxima que va a circular por el secundario del transformador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

S: potencia del transformador en KVA.

U: tensión compuesta secundaria de la red en kV (0.72 kV).

$$I = 1003 \text{ A}$$

Los elementos empleados en la protección y seccionamiento de la línea, así como los elementos de conexión soportan la intensidad permanente a circular por la línea.

Transformador 800 KVA

La corriente máxima que va a circular por el secundario del transformador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

S: potencia del transformador en KVA.

U: tensión compuesta secundaria de la red en kV (0.525 kV).

$$I = 880 \text{ A}$$

Los elementos empleados en la protección y seccionamiento de la línea, así como los elementos de conexión soportan la intensidad permanente a circular por la línea.

Transformador 50 KVA

La corriente máxima que va a circular por el secundario del transformador viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Donde:

S: potencia del transformador en KVA.

U: tensión compuesta secundaria de la red en kV (0.4 kV).

$$I = 73 \text{ A}$$

Los elementos empleados en la protección y seccionamiento de la línea, así como los elementos de conexión soportan la intensidad permanente a circular por la línea.

2.2.3 Corrientes de cortocircuito

Intensidad de cortocircuito en el lado de A.T

Para calcular la intensidad de cortocircuito en el lado de alta tensión se emplea las expresiones:

$$Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}}$$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Donde:

Z_a: impedancia de la red en A.T

U: tensión compuesta de la red en A.T en kV (15 kV)

S_{cc}: potencia de cortocircuito trifásica de la red (500 MVA)

R: resistencia del cable de unión entre los dos centros de transformación en Ω

ρ: resistividad del aluminio 35 Ωm/mm²

S: sección del conductor en mm²

La intensidad de cortocircuito es:

$$I_{cc} = \frac{U_s}{Z_t}$$

Donde:

U_s: tensión simple de la red en el lado de A.T en kV

Z_t: impedancia total hasta el punto de cálculo de la I_{cc}

Se obtiene:

$$I_{cc} = 18.2 \text{ kA}$$

Intensidad de cortocircuito en el lado de B.T

Transformador 1250 KVA

Para calcular la intensidad de cortocircuito en bornes del secundario del transformador tenemos en cuenta la tensión de cortocircuito del mismo, cuyo valor es del 6%. En todos los dimensionamientos de los interruptores por intensidad de cortocircuito se han despreciado las impedancias del cableado interior de los centros de transformación, debido a la corta distancia de estos.

La corriente de cortocircuito secundaria de un transformador trifásico, viene dado por la expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s}$$

Donde:

P: Potencia del transformador en KVA

E_{cc}: tensión de cortocircuito del transformador en %

U_s: tensión secundaria en V (720 V)

I_{ccs}: corriente de cortocircuito en kA

Obtenemos:

$$I_{ccs} = 17.4 \text{ kA}$$

Transformador 800 KVA

Para calcular la intensidad de cortocircuito en bornes del secundario del transformador tenemos en cuenta la tensión de cortocircuito del mismo, cuyo valor es del 6%. En todos los dimensionamientos de los interruptores por intensidad de cortocircuito se han despreciado las impedancias del cableado interior de los centros de transformación, debido a la corta distancia de estos.

La corriente de cortocircuito secundaria de un transformador trifásico, viene dado por la expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s}$$

Donde:

P: potencia del transformador en KVA

E_{cc}: tensión de cortocircuito del transformador en %

U_s: tensión secundaria en V (525 V)

I_{ccs}: corriente de cortocircuito en kA

Obtenemos:

$$I_{ccs} = 14.7 \text{ kA}$$

Transformador 50 KVA

Para calcular la intensidad de cortocircuito en bornes del secundario del transformador tenemos en cuenta la tensión de cortocircuito del mismo, cuyo valor es del 4%. En todos los dimensionamientos de los interruptores por intensidad de cortocircuito se han despreciado las impedancias del cableado interior de los centros de transformación, debido a la corta distancia de estos.

La corriente de cortocircuito secundaria de un transformador trifásico, viene dado por la expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s}$$

Donde:

P: potencia del transformador en KVA

E_{cc}: tensión de cortocircuito del transformador en %

U_s: tensión secundaria en V (400 V)

I_{ccs}: corriente de cortocircuito en kA

Obtenemos:

$$I_{ccs} = 1.8 \text{ kA}$$

2.2.4 Batería de Condensadores.

En este apartado se procede a calcular la batería de condensadores necesaria a instalar en el C.T Proceso, para compensar los consumos de B.T a $\cos\varphi=0.98$.

De acuerdo con las características de consumos de los motores de baja tensión, la expresión a emplear para determinar la batería de condensadores a instalar, es la siguiente:

$$Q_c = Q_a - Q'$$

Donde:

Q_c: potencia reactiva a generar por las baterías para conseguir un $\cos\varphi = 0.98$

Q: potencia reactiva consumida por los consumos de B.T correspondiente a $\cos\varphi = 0.86$

Q': potencia reactiva consumida por los consumos de B.T correspondiente a un $\cos\varphi=0.98$

Se obtiene:

$$Q_c = 460 \text{ kVar}$$

Se procede a instalar una batería de condensadores regulable de 475 kVar.

2.2.5 Protecciones

Las protecciones serán interruptores automáticos magnetotérmicos, siendo la actuación magnética fija y la térmica regulable. Las características de cada circuito son:

LISTA DE PROTECCIONES DE B.T

CGDBT1

Interruptores Automáticos

| Código | Descripción | Tensión (V) | In (A) | Icc (kA) |
|---------|--|-------------|--------|----------|
| ... | Cabecera | 690 | 1250 | 20 |
| SP01-4G | Accto. Bomba motor Sepol | 690 | 400 | 20 |
| VE02-4G | Accto. Ventilador filtro mangas Sepol | 690 | 630 | 20 |
| VE01-4G | Accto. Ventilador filtro mangas molino | 690 | 320 | 20 |

CGDBT2

Interruptores Automáticos

| Código | Descripción | Tensión (V) | In (A) | Icc (kA) |
|--------|--|-------------|--------|----------|
| ... | Cabecera | 690 | 1250 | 25 |
| ... | Protección entrada CCM | 690 | 320 | 25 |
| ... | Protección primario transformador de 50 KVA | 690 | 160 | 15 |
| ... | Protección batería de condensadores 475 kVar | 690 | 630 | 25 |

CCM

Interruptores Automáticos

| Código | Descripción | Tensión (V) | In (A) | Icc (kA) |
|---------|--------------------------------------|-------------|--------|----------|
| BA01-4G | Accto. Banda dosificadores clínker | 690 | 80 | 50 |
| BA02-4G | Accto. Banda dosificadores yeso | 690 | 80 | 50 |
| BA03-4G | Accto. Banda dosificadora caliza | 690 | 80 | 50 |
| CT01-4G | Accto. Banda transportadora molienda | 690 | 80 | 50 |
| BB01-4G | Accto. Bomba B.P cojinete libre | 690 | 80 | 50 |

| | | | | |
|---------------|---|-----|-----|----|
| BB02-4G | Accto. Bomba A.P cojinete libre | 690 | 80 | 50 |
| BB03-4G | Accto. Bomba B.P cojinete fijo | 690 | 80 | 50 |
| BB04-4G | Accto. Bomba A.P cojinete fijo | 690 | 80 | 50 |
| BB05-4G | Accto. Recirculación filtro | 690 | 80 | 50 |
| RE1-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| RE2-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| RE3-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| RE4-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| RE5-ML01-4G | Calefacción aceite cojinetes y reductor del molino | 690 | 80 | 50 |
| E01-MAUX-4G | Accto. Electro-hidráulico freno zapatas aux. Molino | 690 | 80 | 50 |
| MAUX-4G | Accto. Motor auxiliar accto. Molino | 690 | 80 | 50 |
| RE6-ML01-4G | Calefacción compartimento estatórico accto. Molino | 690 | 80 | 50 |
| RE7-ML01-4G | Calefacción compartimento rotórico accto. Molino | 690 | 80 | 50 |
| VE07-4G | Accto. Ventilador 1 inyección de agua | 690 | 80 | 50 |
| VE08-4G | Accto. Ventilador 2 inyección de agua | 690 | 80 | 50 |
| BB06-4G | Accto. Bomba agua inyección de agua | 690 | 80 | 50 |
| AR01-4G | Accto. Ventilador fluidor | 690 | 80 | 50 |
| EL01-4G | Accto motor principal elevador cangilones | 690 | 160 | 25 |
| AUX-EL01-4G | Accto motor principal auxiliar cangilones | 690 | 80 | 50 |
| AR02-4G | Accto. Ventilador fluidor | 690 | 80 | 50 |
| BB07-4G | Accto. Bomba lubricación Sepol | 690 | 80 | 50 |
| AR03-4G | Accto. Ventilador fluidor | 690 | 80 | 50 |
| RC01-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Molino | 690 | 80 | 50 |
| AR04-4G | Accto. Fluidor filtro mangas Sepol | 690 | 80 | 50 |
| RC02-4G | Accto. Esclusa celular filtro m. Sepol | 690 | 80 | 50 |
| POLP1-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: motor elevación | 690 | 80 | 50 |
| POLP2-SP01-4G | Accto. Polipasto Sepol: m. translación | 690 | 80 | 50 |
| POLP1-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Elev. | 690 | 80 | 50 |
| POLP2-ML01-4G | Accto. Polipasto carga bolas: m. Trans. | 690 | 80 | 50 |
| POLP3-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Elevación | 690 | 80 | 50 |
| POLP4-ML01-4G | Accto. Polipasto molino: m. Translación | 690 | 80 | 50 |
| POLP1-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Elevación | 690 | 80 | 50 |
| POLP2-EL01-4G | Accto. Polipasto elevador: m. Translación | 690 | 80 | 50 |
| BA04-4G | Accto rueda de medida caud. Coriolis | 690 | 80 | 50 |
| AR06-4G | Accto. Ventilador fluidor | 690 | 80 | 50 |
| VE03-4G | Accto. Ventilador filtro mangas fluidor tpte. Cenizas | 690 | 80 | 50 |
| AR07-4G | Accto. Ventilador fluidor del filtro de molino | 690 | 80 | 50 |

Tabla 2. Protecciones BT.

3. CABLES DE M.T / B.T

3.1 Cables

En este apartado, se procede a determinar los cables que van a ser empleados en toda la instalación. A continuación se detalla el cálculo de la sección de un cable de M.T y B.T, considerando la intensidad máxima admisible, caída de tensión y corriente de cortocircuito.

Posteriormente se incluyen el resto de cables de la instalación, en los que se han aplicado los criterios anteriormente señalados.

Cable de M.T (Unión entre C.T's)

La intensidad máxima a transportar por este cable es 81 A y la intensidad de cortocircuito máxima que puede llegar a aparecer en este punto es de 19.2 kA.

De acuerdo con esto, se procede a un cable Al 12/20 Kv, aislado en XLPE, de características 3x(1x240 mm²) de sección. Se comprueba el cumplimiento por densidad de corriente e intensidad de cortocircuito.

Intensidad máxima admisible

Se tendrá en cuenta a la hora de calcular la intensidad máxima admisible por el conductor empleado, los siguientes factores de corrección:

| | |
|-----------------------------------|---------|
| Temperatura del terreno 25 °C: | 1 |
| Resistividad térmica del terreno: | 1 K.m/W |

De acuerdo con las características del cable, este aguanta una intensidad máxima enterrado de 550 A, valor muy superior a los 81 A que pueden llegar a circular por la línea.

Intensidad de cortocircuito

La intensidad de corriente de cortocircuito admisible en los conductores se calcula en función de la temperatura máxima de servicio permanente (90°C) y de la de cortocircuito (250°C), considerando como temperatura inicial la de servicio permanente y como temperatura final la de cortocircuito.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito máxima soportada por el conductor, se tiene en cuenta la fórmula:

$$I \sqrt{t} = K S$$

Donde:

I: intensidad de cortocircuito admisible por el cable, A.

t: duración del cortocircuito (1 s).

K: coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y de sus temperaturas al inicio y al final del cortocircuito. Para este caso K= 93, por ser aluminio.

S: sección del conductor, mm².

Sustituyendo obtenemos, que la intensidad de cortocircuito admisible por el cable es:

$$I_{cc} = 22.3 \text{ kA} > 19.2 \text{ kA}$$

Cable de B.T (ventilador filtro mangas Molino)

La intensidad máxima de este circuito es de 283 A (se ha sobredimensionado un 25%) y la intensidad de cortocircuito de 17.4 KA.

De acuerdo con esto, se procede a instalar un cable de Cu 0,6/1 Kv, aislado en XLPE de características 3x(1x150 mm²) de sección. Se comprueba el cumplimiento por densidad de corriente, intensidad de cortocircuito y caída de tensión.

Intensidad máxima admisible

Se tendrá en cuenta a la hora de calcular la intensidad máxima admisible por el conductor empleado, los siguientes factores de corrección:

| | |
|-----------------------------|------|
| Agrupación de 5 ternas: | 0,75 |
| Temperatura ambiente 40 °C: | 1 |

Teniendo en cuenta dichos factores, el conductor empleado soporta una intensidad máxima de 289 A, superior a la máxima que puede llegar a circular por fase.

Intensidad de cortocircuito

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito máxima soportada por el conductor, se tiene en cuenta la misma fórmula empleada hasta ahora:

$$I \sqrt{t} = K S$$

Donde:

I: intensidad de cortocircuito admisible por el cable, A.

t: duración del cortocircuito (1 s).

K: coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y de sus temperaturas al inicio y al final del cortocircuito. Para este caso K= 142, por ser cobre.

S: sección del conductor, mm².

Sustituyendo obtenemos, que la intensidad de cortocircuito admisible por el cable es:

$$I = 21.3 \text{ kA} > 17.4 \text{ kA}$$

Caída de tensión

Se establece un 6.5% de la tensión de alimentación como máximo de caída de tensión.

La caída de tensión se determina con la siguiente expresión:

$$e = \frac{P \cdot L}{\gamma \cdot S \cdot U}$$

Donde:

P: potencia a transportar por la línea (160 kW)

e: caída de tensión de la línea en V

L: longitud de la línea en m (28 m)

γ : conductividad del cobre ($56 \Omega\text{m}/\text{mm}^2$)

S: sección del conductor en mm^2

U: tensión del motor (500 V)

Obteniéndose:

$$e = 1\text{ V} < 32.5\text{ V}$$

3.2 Determinación diámetro de tubos

Los cables de unión entre centros de transformación y parte del trazado del cable del motor del molino se instalará en canalización entubada, tal y como se describe en la *MEMORIA*.. Según se establece en el capítulo 21, tabla 9 de las Instrucciones Técnicas Complementarias del RBT, para un número inferior a 6 conductores unipolares por tubo, siendo cada conductor unipolar de 240 mm^2 , se establece el empleo de tubos de diámetro exterior 240 mm para el caso del cable de unión entre C.T's. Para el caso del cable del motor del molino se establece el empleo de tubos de diámetro exterior de 160 mm.

3.3 Bandejas

Las dimensiones de las bandejas empleadas para la distribución de los cables por el interior del edificio de molienda, se especifican en los planos de caminos de cables, planos nº 6, 7, 8, 9.

4. RED DE TIERRAS

4.1 Centros de Transformación

En este apartado se procede a calcular el máximo valor de las tensiones de paso y contacto a las que puede quedar sometida una persona que se encuentre en el centro de transformación, para ello se ha tenido en cuenta lo especificado en el apartado 1.1 del MIE RAT 13.

4.1.1. - Resistencia de puesta a tierra

La resistencia máxima de la puesta a tierra de protección del centro de transformación se calcula con la fórmula:

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt}$$

Donde:

I_d : Intensidad máxima de defecto a tierra en el centro considerado (se considera 600A)

R_t : Resistencia de la puesta a tierra de protección, ohm

V_{bt} : Nivel de aislamiento de la instalación de baja tensión, (10 kV).

Según esto la resistencia total de la puesta a tierra preliminar será:

$$R_t = 16.7 \, \Omega$$

El valor unitario de la puesta a tierra es:

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho}$$

Donde:

K_r : Coeficiente K_r del electrodo.

R_t : Resistencia de la puesta a tierra de protección, ohm

ρ : Resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$, (250 $\Omega \cdot m$).

$$K_r \leq 0,067$$

De acuerdo con el método de calculo incluido en las normas UNESA, y lo anteriormente calculado se escoge el sistema de puesta a tierra tal que $K_r \leq$ al valor calculado, de este modo se conseguirá valores de resistencia más bajos, con las consiguientes disminuciones de las tensiones de paso y contacto. Según esto, el parámetro característico de los electrodos de puesta a tierra para una configuración de ocho picas de 2m de longitud y 14 mm de diámetro, distribuidas en los vértices de un rectángulo de 8x4 m y enterradas a una profundidad de 0,5 m, es el siguiente:

$$K_r = 0,057$$

Considerando una resistividad del terreno de $250 \Omega \cdot m$; la resistencia de tierra será 14.3Ω .

$$R_t = K_r \cdot \rho = 0,057 \cdot 250 = 14.3 \Omega$$

4.1.2. - Intensidad de defecto a tierra

De acuerdo con el dato aportado por la compañía suministradora, se ha considerado una intensidad de defecto máxima de 600 A.

4.1.3. - Tensiones de paso, defecto y acceso

El cálculo de las tensiones de paso, y acceso que van a presentarse en la instalación, se realizará atendiendo a los parámetros característicos incluidos en las Normas UNESA. Puesto que ambos centros de transformación están rodeados por una malla conectada al electrodo de tierra, la V_p (acc) será igual al valor de la tensión máxima de contacto. Por otro lado no es preciso calcular la tensión de contacto en el exterior de la instalación ya que serán prácticamente cero, debido a las medidas de seguridad adicionales.

La tensión de defecto vendrá dada por:

$$V_d = R_t \cdot I_d$$

$$V_d = 8550 \text{ V}$$

Los parámetros de característicos del sistema de puesta a tierra son :

$$K_p = 0,0124$$

$$K_c = K_{p(acc)} = 0,0374$$

La expresión siguiente da el valor de las tensiones en función de los parámetros descritos:

$$V_p = K_p I_d \rho$$

$$V_{p(acc)} = K_{p(acc)} I_d \rho$$

Los cálculos se van a llevar a cabo considerando la tensión de la línea de 15 kV, por ser en este caso mayor la corriente de defecto.

$$V_p = 0,0124 \cdot 600 \cdot 250 = 1860 \text{ V}$$

$$V_{p(acc)} = 0,0374 \cdot 600 \cdot 250 = 5610 \text{ V}$$

4.1.4 - Tensiones máximas admisibles

De acuerdo con MIE-RAT 13 las tensiones de paso, y acceso máximas admisibles vendrán definidas por la siguientes expresiones:

$$V_p = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \rho}{1.000} \right)$$

$$V_{p(acc)} = \frac{10 K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \rho + 3 \rho'}{1.000} \right)$$

Siendo:

V_p : Tensión de paso, V.

$V_{p(acc)}$: Tensión de acceso, V.

ρ : Resistividad del terreno, 250 Ωm .

ρ' : Resistividad del hormigón de la cimentación, 3.000 Ωm .

El valor de K y n viene en función del tiempo de actuación de las protecciones, en este caso 1s, por lo que K toma un valor de 78,5 y n de 0,18 según el Reglamento.

$$V_p = \frac{10 \cdot 78,5}{1^{0,18}} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 250}{1000} \right) = 1962,5V$$

$$V_{p(acc)} = \frac{10 \cdot 78,5}{1^{0,18}} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 250 + 3 \cdot 3000}{1000} \right) = 8439V$$

Como se puede observar estos valores son superiores a los hallados con anterioridad, por lo tanto la instalación de puesta a tierra cumple con la Instrucción Técnica MIE-RAT 13.

Tensión de paso: $V_p = 1860 < 1962,5 V$

Tensión de paso en el acceso al centro: $V_{p(acc)} = 5610 V < 8439 V$

Tensión de defecto: $V_d = 8550 V < 10000 V$

4.1.5.- Puesta a tierra del neutro del transformador

Se establece un valor máximo de la resistencia de puesta a tierra inferior a 37 Ω .

Según esto, el parámetro característico de los electrodos de puesta a tierra para una configuración de dos picas en hilera de 4 m de longitud y 14 mm de diámetro, separadas 6 m y enterradas a una profundidad de 0,5 m, es el siguiente:

$$K_r = 0,113$$

Por lo que:

$$Rt = K_r \cdot \rho = 0.113 \cdot 250 = 28\Omega$$

4.1.6. - Separación de la toma de tierra para el neutro del transformador

Con el fin de evitar tensiones elevadas que puedan afectar a las instalaciones por causas de transferencia de tensiones de un sistema de puesta a tierra a otro, se dispone toma de tierra separada para el neutro del transformador ya que la tensión de defecto es mayor a 1000 V . La separación mínima D entre electrodos de tierras de herrajes y neutro es:

$$D \geq \frac{\rho \cdot Id}{2000 \cdot \pi} = 24m$$

La puesta a tierra del neutro se dispondrá a 30 m.

4.1.7. - Justificación de las líneas de tierra

Los conductores empleados en las líneas de tierra serán de cobre de 50 mm² de sección; la corriente que va a circular por el conductor en caso de defecto es 600 A en el peor de los casos -correspondiente con una tensión de servicio de 15 kV-.

Por densidad de corriente: La máxima densidad de corriente admisible en un conductor de Cu, de acuerdo con MIE-RAT 13 es de 160A/mm²; valor muy superior al que realmente se tendrá en la instalación.

$$\delta = \frac{Id}{S} = \frac{600}{50} = 12A/mm^2$$

Por calentamiento: De acuerdo con MIE-RAT 13, se admite una elevación de temperatura no superior a 200°C.

Considerando esta limitación, la línea de tierra debe tener una sección mínima de:

$$S \geq \frac{I}{\alpha} \sqrt{\frac{t}{\Delta\theta}}$$

Siendo:

S: Sección del conductor, mm².

I: Intensidad de falta, A.

t: Tiempo de duración del defecto, s.

α : Constante de valor 13 para el cobre.

$\Delta\theta$: Calentamiento admisible, °C.

$$S = \frac{500}{13} \cdot \sqrt{\frac{1}{250}} = 2.72 \text{ mm}^2$$

Para el C.T Proceso se dispone lo mismo que lo calculado para el C.T Molino. En este caso por las mayores dimensiones del centro de transformación, el mallado será de dimensiones 17x12 m, por lo que se tiene la seguridad de que si para el caso anterior los valores máximos admisibles de tensión se cumplían, este último cumple las condiciones establecidas en el MIE-RAT 13 con mayor razón, pues al ser de mayores dimensiones, presentará una menor resistencia de puesta a tierra y una mejor disipación de las corrientes de defecto.

4.2 Edificio Molienda

Se establece una resistencia de puesta a tierra máxima de 80 Ω . El anillo exterior se unirá a dos picas dispuestas en hilera de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro, separadas 15 m y enterradas a una profundidad de 0,5 m. El coeficiente del electrodo para esta disposición es el siguiente:

$$K_r = 0,213$$

Por lo que:

$$R_t = K_r \cdot \rho = 0.213 \cdot 250 = 53 \Omega$$

4.3 Pararrayos

Se dispondrá de un pararrayos para proteger la instalación en caso de descarga atmosférica tipo rayo. El terminal aéreo del pararrayos debe de superar como mínimo dos metros la máxima cota de la estructura a proteger.

Atendiendo a las características del edificio de moliendo, se procede a la instalación de un pararrayos tipo, Dat-Controller plus DC+60, con una altura de mástil de 6 m, el cual proporciona un radio de protección de 97 m.

5. CÁLCULOS DE BANDEJAS POR ABAQUS

5.1. Caso 1

Los datos obtenidos por el programa para los distintos desplazamientos se pueden observar en la tabla inferior.

| Desplazamiento (mm) | Tensión (MPa) |
|---------------------|---------------|
| 5 | 0.3142 |
| 10 | 0.6284 |
| 15 | 1.2344 |
| 20 | 2.4467 |
| 25 | 4.8498 |

Tabla 3. Empotramiento en techo.

En un principio y puesto que la tensión de rotura del acero es del orden de tres veces mayor (400 MP) podríamos seguir deformando la bandeja sin llegar a romper. Sin embargo a desplazamientos más elevados entrarían en juego los criterios de plastificación, que provocaría una ruptura del material.

5.2. Caso 2

Los datos obtenidos por el programa para los distintos desplazamientos en el caso de empotramiento en voladizo se pueden observar en la tabla inferior.

| Desplazamiento (mm) | Tensión (MPa) |
|---------------------|---------------|
| 5 | 0.0225 |
| 10 | 0.0447 |
| 15 | 0.0886 |
| 20 | 0.1759 |
| 25 | 0.3482 |

Tabla 4. Empotramiento en voladizo.

Se observan las mismas limitaciones en el desplazamiento que para el caso anterior.

PRESUPUESTO

| CAP.01 TRANSFORMADORES | | UD. | CANT. | P/U Euros | TOTAL Euros |
|---|--|------------|--------------|----------------------|------------------------|
| 1. C.T MOLINO | | | | | |
| <p>Transformador de potencia trifásico, en baño de aceite, sin depósito de expansión, llenado pleno, construido de acuerdo con la norma UNESA 5.201D, de características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vp 15.000 \pm 2,5% \pm 5% V - Vs 6,6 kV - F 50 Hz - S 5,5 MVA - Grupo Dyn11 <p>Según Especificación Técnica IE.08.10.</p> | | u. | 1,0 | 43000 | 43.000 |
| 1.1 C.T PROCESO | | | | | |
| <p>Transformador de potencia trifásico, en baño de aceite, sin depósito de expansión, llenado pleno, construido de acuerdo con la norma UNESA 5.201D, de características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vp 15.000 \pm 2,5% \pm 5% V - Vs 720 V - F 50 Hz - S 1250 KVA - Grupo Dyn11 <p>Según Especificación Técnica IE.08.10.</p> | | u. | 1,0 | 15.000 | 15.000 |
| <p>Transformador de potencia trifásico, en baño de aceite, sin depósito de expansión, llenado pleno, construido de acuerdo con la norma UNESA 5.201D, de características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vp 15.000 \pm 2,5% \pm 5% V - Vs 525 V - F 50 Hz - S 800 KVA - Grupo Dyn11 <p>Según Especificación Técnica IE.08.10.</p> | | u. | 1,0 | 12.000 | 12.000 |



| | | | | |
|--|----|------------|-------|---------------|
| <p>Transformador de potencia trifásico, en baño de aceite, sin depósito de expansión, llenado pleno, construido de acuerdo con la norma UNESA 5.201D, de características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vp 525 \pm 2,5% \pm 5% V - Vs 400-230 V - F 50 Hz - S 50 KVA - Grupo Dyn11 <p>Según Especificación Técnica IE.08.10.</p> | u. | 1,0 | 7.000 | 7.000 |
| 10 % Mano de obra, otros servicios | | | | 7.700 |
| TOTAL CAP. 01: | | 4,0 | | 84.700 |

| CAP.02 | CABINAS DE MEDIA TENSIÓN | UD. | CANT. | P/U Euros | TOTAL Euros |
|---------------|---|------------|--------------|------------------|--------------------|
| 2.1 | C.T MOLINO | | | | |
| | Cabina prefabricada en SF6, marca Ormazabal, serie CGM-24, incluyendo un interruptor de 24 KV - 400 A con mando manual y tres posiciones "conexión-seccionamiento-puesta a tierra". Según Especificación Técnica IE.08.02. | u. | 3,0 | 2.599 | 7.800 |
| | Cabina prefabricada en SF6, marca Ormazabal, serie CGM-24, incluyendo un interruptor pasante de 24 KV - 400 A con mando manual. Según Especificación Técnica IE.08.02. | u. | 1,0 | 2.100 | 2.100 |
| | Cabina prefabricada en SF6, marca Ormazabal, serie CGM-24 Aut+Relé fase homop, incluyendo un seccionador de 24 KV - 400 A con mando manual y tres posiciones "conexión-seccionamiento-puesta a tierra", un disyuntor de 24 KV - 400 A - 12,5 KA con mando manual, transformadores de intensidad y relés de sobreintensidad de fases y homopolar. Según Especificación Técnica IE.08.02. | u. | 3,0 | 6.200 | 18.600 |
| | Cabina prefabricada marca Ormazabal, serie CGM-24, incluyendo 3 transformadores de intensidad y 3 transformadores de tensión. Según Especificación Técnica IE.08.02. | u. | 1,0 | 4.575 | 4.575 |
| | Celda de remonte de In=400 A, Un=24 kV formada por un módulo con aislamiento integral en SF6. Según Especificación Técnica IE.08.02. | u. | 1,0 | 983,00 | 983 |
| | Juego de puentes de media tensión conocono a 24 KV, para enlace entre cabina prefabricada y transformador de potencia. | u. | 3,0 | 575,00 | 1.725 |
| | Accesorios de caseta, incluyendo: -1 Banqueta aislante para 24 KV -1 Pértiga aislante para 24 KV. -1 Juego de guantes aislantes para 24 KV. -1 Placa "Primeros auxilios". -5 Placas "Peligro de Muerte". -1 Extintor de polvo seco o CO2. | u. | 1,0 | 478,12 | 478 |

| 2.2 C.T PROCESO | | | | |
|---|----|-------------|--------|---------------|
| Celda de remonte de In=400 A, Un=24 kV formada por un módulo con aislamiento integral en SF6. Según Especificación Técnica IE.08.02. | u. | 1,0 | 983,00 | 983 |
| Cabina prefabricada en SF6, marca Ormazabal, serie CGM-24 Aut+Relé fase homop, incluyendo un seccionador de 24 KV - 400 A con mando manual y tres posiciones "conexión-seccionamiento-puesta a tierra", un disyuntor de 24 KV - 400 A - 12,5 KA con mando manual, transformadores de intensidad y relés de sobreintensidad de fases y homopolar. Según Especificación Técnica IE.08.02. | u. | 2,0 | 6.200 | 12.400 |
| Juego de puentes de media tensión conocido a 24 KV, para enlace entre cabina prefabricada y transformador de potencia. | u. | 3,0 | 575 | 1.725 |
| Accesorios de caseta, incluyendo: -1 Banqueta aislante para 24 KV -1 Pértiga aislante para 24 KV. -1 Juego de guantes aislantes para 24 KV. -1 Placa "Primeros auxilios". -5 Placas "Peligro de Muerte". -1 Extintor de polvo seco o CO2. | u. | 1,0 | 478 | 478 |
| 10 % Mano de obra, otros servicios | | | | 5.185 |
| TOTAL CAP. 02: | | 20,0 | | 57.032 |

| CAP.03 | BATERÍA DE CONDENSADORES | UD. | CANT. | P/U Euros | TOTAL Euros |
|-----------------------|---|------------|--------------|------------------|--------------------|
| 3.1 | C.T MOLINO | | | | |
| | Equipo de corrección automática del factor de potencia, marca Merlin Gerin, de características: -Potencia total 1200 KVar -Composición 24*50 KVar. Según Especificación Técnica IE.18.00. | u. | 1,0 | 12.00 | 12.000 |
| 3.2 | C.T PROCESO | | | | |
| | Equipo de corrección automática del factor de potencia, marca Merlin Gerin, de características: -Potencia total 475 KVar -Composición 25+9*25 KVar. Según Especificación Técnica IE.18.00. | u. | 1,0 | 5.557 | 5.557 |
| | 10 % Mano de obra, otros servicios | | | | 1.756 |
| TOTAL CAP. 03: | | | 2,0 | | 19.313 |

| CAP.04 | CABLES | UD. | CANT. | P/U Euros | TOTAL Euros |
|-----------------------|---|------------|---------------|----------------------|------------------------|
| 4.1 | CABLES DE M.T | | | | |
| | Cable tipo RHVMAV 12/20 kV, 1 x 240 mm ² | m. | 300 | 3,12 | 936 |
| | Cable tipo RHVMAV 12/20 kV, 1 x 150 mm ² | m. | 258 | 2,61 | 673 |
| | Cable tipo RHVMAV 12/20 kV, 3 x 50 mm ² | m. | 10 | 3,75 | 38 |
| 4.2 | CABLES DE B.T | | | | |
| | Cable tipo RV 0,6/1 kV, 1 x 240 mm ² | m. | 636 | 2,75 | 1.749 |
| | Cable tipo RV 0,6/1 kV, 1 x 185 mm ² | m. | 20 | 2,28 | 46 |
| | Cable tipo RV 0,6/1 kV, 1 x 150 mm ² | m. | 2.304 | 2,28 | 5.253 |
| | Cable tipo RV 0,6/1 kV, 1 x 120 mm ² | m. | 50 | 2,10 | 105 |
| | Cable tipo RV 0,6/1 kV, 1 x 70 mm ² | m. | 5.088 | 1,96 | 9.972 |
| | Cable tipo RV 0,6/1 kV, 3.5 x 16 mm ² | m. | 90 | 2,53 | 228 |
| | Cable tipo RV 0,6/1 kV, 3 x 16 mm ² | m. | 10 | 2,53 | 25 |
| 4.3 | CABLES DE ALUMBRADO | | | | |
| | Cable 3.5 x 16 mm ² | m. | 2.106 | 5,15 | 10.846 |
| | 10 % Mano de obra, otros servicios | | | | 2.988 |
| TOTAL CAP. 04: | | | 10.872 | | 32.859 |



| CAP.05 | VARIADORES | UD. | CANT. | P/U Euros | TOTAL Euros |
|-----------------------|---|------------|--------------|------------------|--------------------|
| 5.1 | C.T MOLINO | | | | |
| | Variador de frecuencia U=690 V de dimensiones 2,2x0,6x1 m, con poder de ruptura de más de 63 kA, salida de cables de más de 1,6 kA, y alimentación a motores de más de 630 A. Grado de protección IP54. Cumplimiento de requerimientos: IEC 60439-1 DIN EN 60439-1, VDE 0660 Part 500 DIN VDE 0106 Part 100 (protection against electric shock) IEC 61641, VDE 0660 Part 500, Sheet 2 (fault arcing response) | u. | 3 | 23.000 | 69.000 |
| | 10 % Mano de obra, otros servicios | | | | 6.900 |
| TOTAL CAP. 05: | | | 3,0 | | 75.900 |

| CAP.06 | RED DE TIERRAS | UD. | CANT. | P/U Euros | TOTAL Euros |
|---------------|---|------------|--------------|------------------|--------------------|
| 6.1 | C.T MOLINO | | | | |
| | TIERRA DE PROTECCIÓN | | | | |
| | Pica de acero cobrizado de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro. Según Especificaciones Técnicas IE.46.00. | u. | 8 | 17,78 | 142 |
| | Cable de cobre desnudo de 50 mm ² | m. | 60 | 1,15 | 69 |
| | Soldadura aluminotérmica cable-pica, para pica de 14 mm de diámetro y cable de 50 mm ² de sección. | u. | 8 | 3,13 | 25 |
| | Embarrados de conexión con 4 abrazaderas | u. | 12 | 25,90 | 311 |
| | Puentes de prueba | u. | 1 | 9,59 | 10 |
| | Pletinas 150x60x5 | u. | 13 | 8,77 | 114 |
| | TIERRA NEUTRO TRANSFORMADOR | | | | |
| | Pica de acero cobrizado de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro. Según Especificaciones Técnicas IE.46.00. | u. | 2 | 17,78 | 36 |
| | Cable de cobre desnudo de 50 mm ² | m. | 35 | 1,15 | 40 |
| | Soldadura aluminotérmica cable-pica, para pica de 14 mm de diámetro y cable de 50 mm ² de sección. | u. | 2 | 3,13 | 6 |
| 6.2 | C.T PROCESO | | | | |
| | TIERRA DE PROTECCIÓN | | | | |
| | Pica de acero cobrizado de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro. Según Especificaciones Técnicas IE.46.00. | u. | 8 | 17,78 | 142 |
| | Cable de cobre desnudo de 50 mm ² | m. | 80 | 1,15 | 92 |
| | Soldadura aluminotérmica cable-pica, para pica de 14 mm de diámetro y cable de 50 mm ² de sección. | u. | 8 | 3,13 | 25 |
| | Embarrados de conexión con 4 abrazaderas | u. | 3 | 25,90 | 78 |
| | Puentes de prueba | u. | 1 | 9,59 | 10 |
| | Pletinas 150x60x5 mm | u. | 5 | 8,77 | 44 |
| | TIERRA NEUTRO TRANSFORMADOR | | | | |
| | Pica de acero cobrizado de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro. Según Especificaciones Técnicas IE.46.00. | u. | 2 | 17,78 | 36 |

| | | | | |
|--|----|----------------|----------|--------------|
| Cable de cobre desnudo de 50 mm ² | m. | 35 | 1,15 | 40 |
| Soldadura aluminotérmica cable-pica, para pica de 14 mm de diámetro y cable de 50 mm ² de sección. | u. | 2 | 3,13 | 6 |
| 6.3 EDIFICIO MOLIENDA | | | | |
| Pica de acero cobrizado de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro. Según Especificaciones Técnicas IE.46.00. | u. | 2 | 17,78 | 36 |
| Soldadura aluminotérmica cable-pica, para pica de 14 mm de diámetro y cable de 50 mm ² de sección. | u. | 2 | 3,13 | 6 |
| Cable de cobre desnudo de 95 mm ² de sección. | m. | 540 | 4,11 | 2.219 |
| Cable de cobre desnudo de 50 mm ² de sección. | m. | 160 | 1,15 | 184 |
| Pletinas 100x100x10 mm | u. | 148 | 8,77 | 1.298 |
| Puentes de prueba | u. | 1 | 9,59 | 10 |
| 6.4 PARARRAYOS | | | | |
| Pararrayos con dispositivo de cebado (At), certificado por la marca N de AENOR conforme a la norma UNE 21186 anexo C. Radio de protección de 72 a 100 m, según radio de protección y altura (h). | u. | 1 | 1.773,00 | 1.773 |
| Mástil adosado telescópico en acero galvanizado en caliente. Longitud 6 m. | u. | 1 | 794,00 | 794 |
| Anclaje para mástil en acero galvanizado en caliente. Longitud total del anclaje 30 cm. | u. | 1 | 82,00 | 82 |
| Borna para conexiones eléctricas entre conductores y elementos metálicos en forma lineal. | u. | 1 | 20,00 | 20 |
| Contador de impulsos de rayo, con indicador total de 3 dígitos. Modelo de intemperie. | u. | 1 | 350,00 | 350 |
| 10 % Mano de obra, otros servicios | | | | 800 |
| TOTAL CAP. 06: | | 1.144,0 | | 8.798 |

| CAP.07 ARMARIOS ELÉCTRICOS | | UD. | CANT. | P/U Euros | TOTAL Euros |
|--|--|------------|--------------|------------------|--------------------|
| 7.1 ARMARIO DE CONTADORES | | | | | |
| <p>Armario de contadores, construido de acuerdo con las normas de la compañía distribuidora de energía, para medición a 4 hilos a través de transformadores de intensidad 300/5 A y de tensión 15000/110 V, constituido por:</p> <ul style="list-style-type: none"> -1 Armario metálico, con puerta transparente, precintable, de 1.100*700*300 mm. -1 Tarificador electrónico con medición de energía activa en Clase 1, energía reactiva en Clase 2, elemento maxímetro y discriminación de tarifas y horaria. -1 Bloque de bornas de verificación. -1 Cableado y material auxiliar. <p>Según Especificación Técnica IE.08.18.</p> | | u. | 1 | 1.992,90 | 1.993 |
| 7.2 CGDBT1 | | | | | |
| <p>Cuadro general de distribución, construido de acuerdo con las especificaciones técnicas, de dimensiones aproximadas 1,5x1,8x1 m, con chapa de 2 mm de espesor, registrable mediante puertas con cerradura, grado de protección IP54, conteniendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Interruptor automático magnetotérmico 1250 A, 690V, 20 kA. 1 Interruptor automático magnetotérmico 400 A, 690V, 20 kA. 1 Interruptor automático magnetotérmico 630 A, 690V, 20 kA. 1 Interruptor automático magnetotérmico 320 A, 690V, 20 kA. | | u. | 1 | 9.135,30 | 9.135 |

| 7.3 CGDBT2 | | | | |
|---|----|----------|---------------|--------|
| <p>Cuadro general de distribución, construido de acuerdo con las especificaciones técnicas, de dimensiones aproximadas 1,5x1,8x1 m, con chapa de 2 mm de espesor, registrable mediante puertas con cerradura, grado de protección IP54, conteniendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 Interruptor automático magnetotérmico 1250 A, 690V, 25 kA. - 1 Interruptor automático magnetotérmico 160 A, 690V, 15 kA. - 1 Interruptor automático magnetotérmico 630 A, 690V, 25 kA. - 1 Interruptor automático magnetotérmico 320 A, 690V, 25 kA | u. | 1 | 7.500,60 | 7.501 |
| 7.4 CCM | | | | |
| <p>CCM de dimensiones aproximadas 3,5x2,5x1 m, con chapa de 2 mm de espesor, registrable mediante puertas con cerradura, grado de protección IP54, conteniendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Interruptor automático magnetotérmico 160 A, 690V, 25 kA. 41 Interruptores automáticos magnetotérmico 80 A, 690V, 50 kA. | u. | 1 | 13.534,80 | 13.535 |
| 7.5 ALUMBRADO | | | | |
| <p>Cuadro general de alumbrado de dimensiones aproximadas 1,8x2x1 m, con chapa de 2 mm de espesor, grado de protección IP54, conteniendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> 7 Interruptores automáticos magnetotérmico III+N, 125 A, 500V, 16 kA. | u. | 1 | 1.875,15 | 1.875 |
| 10 % Mano de obra, otros servicios | | | | 3.404 |
| TOTAL CAP. 07: | | 5 | 37.443 | |



| CAP.08 | BANDEJAS Y TUBOS | UD. | CANT. | P/U Euros | TOTAL Euros |
|-----------------------|---------------------------------------|------------|--------------|----------------------|------------------------|
| 8.1 | BANDEJAS PERFORADAS | | | | |
| | Tramos rectos, bandeja 400 mm | u. | 130 | 20,80 | 2.704 |
| | Tramos rectos, bandeja 300 mm | u. | 50 | 19,50 | 975 |
| | Tramos rectos, bandeja 200 mm | u. | 120 | 18,62 | 2.234 |
| | Tramos rectos, bandeja 100 mm | u. | 280 | 15,99 | 4.477 |
| | Codos 90°, bandeja 400 mm | u. | 15 | 7,24 | 109 |
| | Codos 90°, bandeja 300 mm | u. | 20 | 6,53 | 131 |
| | Codos 90°, bandeja 200 mm | u. | 27 | 5,71 | 154 |
| | Codos 90°, bandeja 100 mm | u. | 42 | 4,89 | 205 |
| 8.2 | TAPAS PARA BANDEJAS PERFORADAS | | | | |
| | Tramos rectos, bandeja 400 mm | u. | 130 | 4,08 | 530 |
| | Tramos rectos, bandeja 300 mm | u. | 50 | 4,08 | 204 |
| | Tramos rectos, bandeja 200 mm | u. | 120 | 3,26 | 391 |
| | Tramos rectos, bandeja 100 mm | u. | 280 | 3,26 | 913 |
| | Codos 90°, bandeja 400 mm | u. | 15 | 4,08 | 61 |
| | Codos 90°, bandeja 300 mm | u. | 20 | 4,08 | 82 |
| | Codos 90°, bandeja 200 mm | u. | 27 | 3,26 | 88 |
| | Codos 90°, bandeja 100 mm | u. | 42 | 3,26 | 137 |
| 8.3 | TUBOS | | | | |
| | Tubo 10 ATM. Ø 240 mm. | m. | 600 | 3,80 | 2.280 |
| | Tubo 10 ATM. Ø 160 mm. | m. | 600 | 3,22 | 1.932 |
| | Tubo 10 ATM. Ø 110 mm. | m. | 60 | 2,62 | 157 |
| | Curva 90° 10 ATM. Ø 240 mm. | u. | 6 | 4,89 | 29 |
| | Curva 90° 10 ATM. Ø 160 mm. | u. | 6 | 4,89 | 29 |
| | 10 % Mano de obra, otros servicios | | | | 1.783 |
| TOTAL CAP. 08: | | | 2.640 | | 19.605 |



| RESUMEN POR CAPÍTULOS | CONTRATO |
|-----------------------|----------|
|-----------------------|----------|

| CAP. | DESCRIPCIÓN | PRECIOS | |
|--------|--------------------------|---------|---------|
| | | CANT. | TOTAL € |
| 1 | TRANSFORMADORES | 4 | 84.700 |
| 2 | CABINAS DE MEDIA TENSIÓN | 20 | 57.032 |
| 3 | BATERÍA DE CONDENSADORES | 2 | 19.313 |
| 4 | CABLES | 10.872 | 32.859 |
| 5 | VARIADORES | 3 | 75.900 |
| 6 | RED DE TIERRAS | 1.144 | 8.798 |
| 7 | ARMARIOS ELÉCTRICOS | 5 | 37.443 |
| 8 | BANDEJAS Y TUBOS | 2.640 | 19.605 |
| TOTAL: | | 14.690 | 335.650 |

CONCLUSIONES

1. CONCLUSIONES.

En la parte eléctrica podemos concluir, que la instalación se ha dimensionado para algo más de la potencia que van a consumir las cargas que han sido establecidas de inicio. Esto es deliberado, puesto que se tiene en cuenta posibles ampliaciones o sustituciones de equipos que requieran más potencia.

De la misma manera el sobredimensionamiento en el cableado permite posibles sobrecargas y mayores intensidades, en caso de cambio de equipos como se ha mencionado.

En la parte mecánica, como conclusión se puede establecer, que la estructura en el material establecido, acero estándar, está sobredimensionada, puesto que la tensión de rotura del acero, por término medio, es del orden 400 MPa.

Esto quiere decir que se podría utilizar materiales más ligeros, y más baratos, para la realización de este tipo de bandejas, como bien puede ser el aluminio, cuya tensión de rotura esta en torno a los 70 Mpa.

Sin embargo, que las tensiones que se producen sean bajas (4 órdenes de magnitud), no quiere decir que los desplazamientos puedan ser indefinidos, puesto que los criterios de plastificación son limitantes al respecto.

No se han tenido en cuenta tales criterios, por la sencilla razón que nunca se va a llegar a plastificar con las cargas impuestas, puesto que el proyecto establece las mismas en una carga distribuida de 75 kg/m.

BIBLIOGRAFIA

- K. J. Bathe (1995): "Finite Element Procedures", Prentice Hall, 2nd edition.
- P. G. Ciarlet (1978): *The Finite Element Method for Elliptic Problems*, North-Holland, Ámsterdam, 1978.
- P. G. Ciarlet (1991): "Basic error estimates for elliptic problems" en *Handbook of Numerical Analysis* (Vol II) J.L. Lions y P. G. Ciarlet (ed.), North-Holland, Ámsterdam, 1991, p. 17-35
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (B.O.E 1-12-82) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (B.O.E 1-08-84 y otros).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones complementarias (B.O.E 18-09-02).

PLANOS